

Polyelektromyografische Untersuchung der Rumpfmuskulatur bei
Blasinstrumentenstudenten im Vergleich zu Gesangsstudenten

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Christian Kentner
geboren am 09.07.1983 in Erfurt

Gutachter:

1. Prof. Dr. med. Christoph Anders, Universitätsklinikum Jena
2. PD Dr. med. Michael Eiselt, Universitätsklinikum Jena
3. Prof. Dr. med. Dirk Mürbe, Technische Universität Dresden

Tag der öffentlichen Verteidigung: 06.02.2018

Abkürzungsverzeichnis

Ag/AgCl	Silber/Silberchlorid
DPR	Diaphragma
EI	Erector spinae pars iliocostalis
EKG	Elektrokardiogramm
EL	Erector spinae pars longissimus
EMG	Elektromyografie
IC5	Intercostale 5. ICR
IC8	Intercostale 8. ICR
LD	Latissimus dorsi
M	Musculus
MF	Multifidus
ms	Millisekunden
OE	Obliquus externus
OEMG	Oberflächenelektromyografie
OI	Obliquus internus
PM	Pectoralis major
QL	Quadratus lumborum
RA	Rectus abdominis
SA	Serratus anterior
SCM	Sternocleidomastoideus
TD	Trapezius descendens

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Einleitung.....	3
2.1	Motivation der Arbeit	3
2.2	Die Atmung	4
2.2.1	Physiologie des Gasaustausches.....	4
2.2.2	Physiologie der Sngeratmung.....	6
2.2.3	Physiologie der Atmung von Bläsern.....	7
2.3	EMG	16
2.3.1	Muskelphysiologie	17
2.3.2	Aufnahme der Signale.....	17
3	Ziele der Arbeit.....	21
4	Material und Methoden.....	23
4.1	Probanden	23
4.2	Untersuchung.....	24
4.2.1	Untersuchungsaufbau	24
4.2.2	Untersuchungsablauf.....	27
4.3	Datenaufzeichnung	28
4.4	Signalverarbeitung.....	28
4.4.1	Allgemeine Signalverarbeitung.....	28
4.4.2	EKG-Elimination	29
4.4.3	Elimination haltebedingter Einflüsse	30
4.5	Auswerteparameter.....	30
4.5.1	Zeitunabhängige Betrachtung	30
4.5.2	Zeitabhängige Betrachtung	31
4.5.3	Bänderdehnung.....	32
4.6	Statistik	32

4.6.1	Zeitunabhängige Betrachtung	32
4.6.2	Zeitabhängige Betrachtung	32
5	Ergebnisse	34
5.1	Zeitunabhängige Betrachtung	34
5.1.1	Vokalausgleich	34
5.1.2	Dreiklang	42
5.1.3	Tonleiter	51
5.1.4	Schwellton	58
5.2	Zeitabhängige Betrachtung	66
5.2.1	Bandausdehnungen	66
5.2.2	Einatemphase	70
5.2.3	Vokalausgleich	73
5.2.4	Dreiklang	76
5.2.5	Tonleiter	79
5.2.6	Schwellton	85
6	Diskussion	89
6.1	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	89
6.1.1	Einatmung	89
6.1.2	Übungen	95
6.2	Diskussion der Hypothesen	100
6.2.1	Hypothese 1	100
6.2.2	Hypothese 2	100
6.2.3	Hypothese 3	101
6.2.4	Hypothese 4	103
6.3	Fehlerbetrachtung	104
6.3.1	Probanden	104
6.3.2	Untersuchungsaufbau	105
6.3.3	Untersuchungsablauf	105

6.3.4	Elektrodenpositionierung	106
7	Ausblick	107
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	108
9	Anhang.....	112

1 Zusammenfassung

Dauerhaftes und intensives Musizieren führt bei Instrumentalisten, speziell aber bei Bläsern auf lange Sicht zu einer erhöhten Beanspruchung der gesamten Rumpfmuskulatur. Das betrifft die erforderliche Blastechnik, aber auch die Kombination dieser mit den meist als wenig ergonomisch einzuschätzenden Instrumentenhaltungen während des Spielens. Hinsichtlich der Tonerzeugung besteht eine enge Verwandtschaft zwischen Bläsern und Sängern, da für beide Musikergruppen die primäre Tonerzeugung über die Generierung eines adäquaten Luftstroms erfolgt. Bis dato gibt es keine vergleichenden Untersuchungen, die sich mit der Analyse der an der Erzeugung dieses Luftstromes beteiligten Muskeln bei Sängern und Bläsern befassen. Dieser Aufgabe widmet sich die vorliegende Arbeit, wobei die vergleichende Charakterisierung zwischen Bläsern und Sängern zu Beginn des Musikstudiums erfolgte, um am Startpunkt der professionellen Ausbildung Gemeinsamkeiten, aber auch spezifische Charakteristika zu identifizieren.

Hierfür wurden Studenten der Hochschule für Musik in Dresden untersucht. Es wurden Untergruppen (Sänger, Sängerinnen, Holzbläserinnen und Blechbläser) gebildet, um neben den zu vergleichenden Gruppen "Sänger" und "Bläser" ansonsten weitgehend homogene Gruppenzusammensetzungen zu haben. Dafür wurden acht Instrumentalstudenten, je vier Frauen und Männer untersucht. Die Frauen spielten allesamt Querflöte, die Männer, alle Blechbläser, spielten Tuba, Horn und Posaune. Die hier erfassten Daten der Bläser wurden mit den Ergebnissen der Sängern von Jähkel (2014) verglichen. Es wurden die gleichen standardisierten Tonübungen gespielt und dabei das Oberflächen-EMG (OEMG) von 15 Rumpfmuskeln von beiden Körperseiten aufgezeichnet. Die Thoraxexkursion wurde simultan mittels dreier elastischer Bänder um Brust, Flanke und Bauch gemessen. Zusätzlich erfolgte eine Aufzeichnung der Tonsignale, um in der weiteren Auswertung spezifische Abschnitte eindeutig identifizieren zu können.

Um eine interindividuelle Vergleichbarkeit der Messdaten zu ermöglichen, wurden die OEMG Daten wie folgt normiert: auf das Referenzmaximum während maximaler In- und Expiration (Anstrengungsmaß), auf das übungsspezifische Maximum (relatives übungsspezifisches Maximum) und die relativen Anteile der untersuchten Muskeln an der summativen Gesamtaktivität aller gemessenen Muskeln (intermuskuläre Koordination).

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit das Beanspruchungsniveau der einzelnen Muskeln sowohl bei der Inspiration, als auch im Verlauf der einzelnen Gesangsübungen vom zeitlichen

Verlauf abhängig war. Es erfolgte ein Vergleich der Sänger/innen und Bläser/innen gemeinsam, sowie geschlechtsspezifisch.

Ebenso wie Jähkel bei den Sängern ein bereits konsolidiertes muskuläres Koordinationsmuster zu Beginn des Studiums feststellte, gelang dies auch in dieser Arbeit für die Bläser. Es ließen sich in den einzelnen standardisierten Übungsabläufen interessante Zusammenhänge und Muster aufzeigen.

Während der Inspiration vor jeder Übung beginnen sowohl die Sänger, als auch die Bläser mit dem Übungsminimum des einzelnen Muskels (ausgenommen Musculus obliquus internus, welcher als expiratorisch wirkender Muskel bei allen Gruppen einen inversen Verlauf aufweist). Bei allen Gruppen zeigte sich ein ähnlicher Anstieg der muskulären Aktivierung im Verlauf der Einatmung. Allerdings war feststellbar, dass Bläser zeitlich eher das Dehnungsmaximum erreichen als Sänger. Ebenfalls durchgeführte Untersuchungen an Sängern zum Abschluss ihres Gesangstudiums konnten diese Vorverlagerung ebenfalls nachweisen (Schwabe 2016). Somit weisen die Bläser bereits zu Beginn ihres Studiums dieses "qualifiziertere" Inspirationsverhalten auf.

Weiterhin konnte im Verlauf dieser einzelnen Übungen gezeigt werden, dass auch hier die Bläser/-innen zeitlich eher (ca. 10-20 %) die maximale Aktivierung der beanspruchten Muskulatur erreichten als die Sänger, was sich ebenfalls mit den Ergebnissen von Schwabe deckt.

Beim Vergleich zwischen den Flötistinnen und den Sängerinnen zeigten sich bezüglich der Maximalaktivierung bzw. der intermuskulären Koordination kaum Unterschiede. Hierbei kann davon ausgegangen werden, dass sich diese Ähnlichkeit aufgrund der volumenbetonten Tonerzeugung ergibt. Beim Vergleich der Männer (Sänger vs. Blechbläser) kam es hingegen zu einem höheren Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz) auf Seiten der Sänger, welche allerdings nur vereinzelt signifikante Niveaus erreichten und somit nur mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Vergleich zwischen Sängern und Bläsern zu Beginn des Musikstudiums vorgenommen der jedoch aufgrund der begrenzten Probandenzahlen nur bedingt Rückschlüsse zulässt. Grundsätzlich ist das OEMG eine geeignete Methode um objektiv die muskuläre Aktivierung abzubilden. Zur Bestätigung der hier festgestellten Muster und Tendenzen wären Folgeuntersuchungen mit größerer Gruppenstärke sinnvoll, da bereits anhand der wenigen untersuchten Probanden interessante Tendenzen aufgezeigt werden konnten.

2 Einleitung

2.1 Motivation der Arbeit

„Der Berufsmusiker gilt vielen als der Inbegriff des Glückspilzes – er hat es geschafft, aus einer Leidenschaft einen Beruf zu machen. Da Musik heilende Kraft zugeschrieben wird, muss wohl der Musiker, ständig mit diesem Therapeutikum konfrontiert, in Körper, Seele und Geist gesund und zufrieden sein“ (Blum und Ahlers 1995). So das Denken der meisten Menschen, wenn sie mit Berufsmusikern konfrontiert werden. Das dem aber schon lange nicht mehr so ist, ist neben Blum nur den wenigsten bewusst. Der professionelle Musiker ist von Beginn seiner Ausbildung an, welche bei den meisten Musikern bereits im frühen Kindesalter beginnt, mit der Problematik der Überbeanspruchung seines Körpers konfrontiert. 80 % der professionellen Musiker leider unter Beschwerden, welche Einfluss auf das Bewegungs- und Koordinationsvermögen während des Musizierens haben (Altenmüller 2012). Hierfür wurden vor allem in der Vergangenheit viele Untersuchungen durchgeführt, welche sich mit muskuloskelettalen Erkrankungen infolge des Musizierens beschäftigt haben (Smith 1989, Fishbein 1987, Seidel et al. 2001, Wagner 1995). Diese Einschränkungen beruhen auf falscher, bzw. unphysiologischer Haltung und Stellung des Musikers (Güth und Danckwerth 1997, Norris et al. 1997), aber vor allem auf der unphysiologischen Bauart bzw. Handhabung der meisten Instrumente, die lediglich unter Gesichtspunkten der Klangerzeugung konstruiert werden. Weitere Aspekte wie Hörschäden bei Orchestermusikern (Sataloff et al. 1998, Tubiana und Amadio 2000, Blum und Ahlers 1995, Schink et al. 2014) und Überanspruchung des Körpers bei Nichtgewährleisten von Pausen und Erholung (Lahme et al. 2000, Wagner 1995, Schnack 1994) werden in der Literatur mehrfach diskutiert. Diese Aspekte sind dem Musikschüler von heute durchaus bewusst, sodass Programme zur Prävention bereits früh wahrgenommen werden. Ein nicht zu unterschätzendes Problem und zentrales Thema dieser Arbeit, ist die Ökonomisierung der Muskelarbeit im Laufe einer musikalischen Gesangs- oder Instrumentenausbildung. In Anlehnung an Jähkel (2014), welche Gesangsstudenten vor Beginn ihres professionellen Gesangstudiums untersuchte, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Spielen von Holz- und Blechblasinstrumenten. Es soll versucht werden einen Vergleich zwischen den Sängern und den Bläsern aufzuzeigen. Gibt es Gemeinsamkeiten oder Unterschiede in der Beanspruchung der Rumpfmuskulatur während des Musizierens? Kann man bereits zu Beginn des Studiums Koordinationsmuster der Rumpfmuskulatur erkennen?

Damit sowohl bei den Sängern, als auch bei den Bläsern Töne entstehen, bedarf es eines Luftstromes, welcher mithilfe der Atemmuskulatur generiert wird. Da diese Atemtechnik nicht mit der physiologischen Atmung des Alltags übereinstimmt und somit eine unphysiologische Atemtechnik eingesetzt wird (Klöppel 2008), ist es für den Künstler von besonderer Bedeutung seine Atemmuskulatur möglichst effizient zu nutzen (Schlenger 1935). Diese Effizienz, bzw. Ökonomisierung der Muskelarbeit während des Atmens ist, neben der anzustrebenden klanglichen und technischen Perfektion, ein weiterer zentraler Punkt in der Ausbildung eines Musikstudenten im Laufe seines Studiums. In dieser Arbeit soll die Aktivierung der Atemmuskulatur während spezieller Übungen objektiviert und ausgewertet werden.

2.2 Die Atmung

Die Atmung ist nicht nur zuständig für den lebenswichtigen Gasaustausch zwischen Blut und Atemluft, sondern nimmt auch eine bedeutende Rolle in der Klangbildung für die Phonation (Sprechen und Singen) und beim Erzeugen von Tönen mittels Blasinstrumenten ein. Im Folgenden sollen sowohl die Physiologie des Gasaustausches, also auch die Grundzüge der Klangbildung bei Sängern und Bläsern erläutert werden.

2.2.1 Physiologie des Gasaustausches

Angelehnt an Aumüller et al. (2007), Schmidt et al. (2005), Behrend et al. (2010) und Hafferl et al. (1969) werden nun die Grundlagen der Ventilationsatmung erläutert. Die wesentlichste Voraussetzung unseres Lebens ist die Versorgung unseres Körpers mit Sauerstoff. Alle Zellen des menschlichen Körpers sind auf eine kontinuierliche Zufuhr von Sauerstoff angewiesen. Damit dieser Austausch mit der Umwelt stattfinden kann, bedarf es der In- und Expiration. Hierbei kann noch zwischen fakultativer (forcierter) und obligater (willkürlich nicht beeinflussbarer) Atmung unterschieden werden. Jeder Atemzyklus beginnt in Atemruhelage, in dem ein Gleichgewicht zwischen der Verkleinerungstendenz der Lunge und der Ausdehnungstendenz des Thorax vorherrscht. Das Zeitverhältnis von Inspiration zu Expiration beträgt für die obligate Atmung beim Gesunden in etwa 1:2. Bei einem forcierten, also willkürlichen Atemzyklus wird die Lunge während der Inspiration maximal gedehnt und während der Expiration maximal komprimiert. Die unwillkürliche Atemfrequenz beträgt in Ruhe ca. 12 Atemzüge pro Minute mit einem jeweiligen Atemzugvolumen von etwa 500 Millilitern. Somit ergibt sich ein Ruheatemminutenvolumen von ca. 6 Litern pro Minute, welches unter Belastung (Zunahme der Atemfrequenz und -tiefe) auf bis zu 120 Liter pro

Minute gesteigert werden kann. Um das Atemvolumen sowohl unwillkürlich, als auch forciert zu bewegen, bedarf es der Atemmuskulatur, welche den Thorax weit stellt und die Lunge durch die Adhäsionskräfte der Pleura vergrößert. Die Atemmuskulatur kann in verschiedenen Gruppen gegliedert werden (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1 obligate und Atemhilfsmuskulatur (modifiziert nach (Behrends))

Muskelgruppe	Aufgabe	beteiligte Muskeln
obligate Inspiratoren	Einatmung in Ruhe	Diaphragma Mm. intercostales externi Mm. intercartilaginei Mm. scaleni
unterstützende Inspiratoren	forcierter Einatmung	M. erector spinae M. pectoralis major M. pectoralis minor M. serratus anterior M. serratus posterior superior M. sternocleidomastoideus
obligate Expiratoren	Ausatmung in Ruhe	Mm. intercostales interni Mm. subcostales M. transversus thoracis
unterstützende Expiratoren	forcierte Ausatmung	Mm. abdominis Mm. latissimus dorsi

Der Hauptatemtrieb für die obligate Atmung ist, neben dem Sauerstoffpartialdruck und der Wasserstoffionenkonzentration, der Partialdruck des Kohlenstoffdioxids, welcher durch zentrale und periphere Chemorezeptoren gemessen wird. Diese melden eine Über- oder Unterversorgung von Kohlenstoffdioxid an das Atemzentrum, eine Neuronengruppe in der Medulla oblongata im Hirnstamm, welche dann die Atemfrequenz bedarfsgerecht anpasst. Dieser Prozess funktioniert weitgehend unwillkürlich, wohingegen die forcierte Atmung willkürlich abläuft. Dies ist unter anderem für die Phonation bei Sängern, als auch für das Erzeugen von Luftströmen für Blasinstrumente unabdingbar.

2.2.2 Physiologie der Sängeratmung

Singen ist der musikalische Gebrauch der menschlichen Stimme. Um aus dem Luftstrom, der die drei Kompartimente Lunge, Kehlkopf mit Stimmlippen und das „Ansatzrohr“ durchströmt, Klänge zu erzeugen, bedarf es einer komplexen Verschaltung, welche im Folgenden erklärt wird.

Zuerst wird die eingeatmete Luft in der Lunge komprimiert und gespeichert. Die Lunge wirkt so als Kompressor und baut bis zum nächsten Kompartiment einen Druck auf, welcher als subglottischer Druck bezeichnet wird. Dieser Druck ist von Nöten, um mit Hilfe der Stimmlippen einen Primärschall zu erzeugen (Leanderson et al. 1987). Dieser wird dann mit Öffnen der Stimmlippen über das „Ansatzrohr“ weitergeleitet und es kommt zur Klangproduktion. Unter Ansatzrohr ist der Resonanzraum oberhalb der Stimmlippe zu sehen. Hierzu gehören der Rachen, Mund und die Nasennebenhöhlen. Da diese dynamisch verändert werden können, wird dort der Klang moduliert (Sundberg et al. 2007). Nach Richter (2013) kann somit jedem Kompartiment auch eine Aufgabe zugeordnet werden. So ist die Lunge für die Tonanregung, der Kehlkopf für die Tonproduktion und das Ansatzrohr für die Tonformung verantwortlich. Ziel des professionellen Gesangstudiums ist es nun, diese drei Kompartimente gut aufeinander abzustimmen und somit den klanglich einwandfreien Ton zu erzeugen.

Um die Generierung des Luftstromes kontinuierlich zu unterstützen, bedarf es eines Mechanismus, der es erlaubt den Ausatemstrom zu kontrollieren. Hier wird in der Musikwissenschaft der Begriff der „Stütze“ verwendet.

Die Atemstütze beschreibt den Vorgang der Atemregulierung, welcher in erster Linie eine Art subjektive Empfindung des Sängers ist. Untersuchungen konnten zeigen, dass Zuhörer, unabhängig davon ob es sich dabei um musikalische Laien oder ausgebildete Sänger handelte, den akustischen Unterschied, ob die Stütze eingesetzt wurde oder nicht, nicht immer zu 100% benennen konnten (Sonninen et al. 2005, Sand und Sundberg 2005). Die Stütze dient im Allgemeinen dem Halten der inspiratorischen Spannung während des Singens. Die Lunge geht während der Ausatmung nicht sofort in ihre entspannte Ausgangslage zurück, sondern bleibt in Spannung, um einen kontinuierlichen Luftstrom zu gewährleisten (Husler und Rodd-Marling 1978). Den Hauptanteil an dieser Spannung generiert das Zwerchfell, auch wenn dieses nicht direkt beeinflusst werden kann (Göpfert 2002). Der relative Tiefstand des Zwerchfells wird unter dem forcierten Einsatz der Atemhilfsmuskulatur länger beibehalten. Somit wird eine verzögerte Expiration gewährleistet. Hierfür dienen in erster Linie die Bauchwand- und die (oberflächliche und tiefe) Rückenmuskulatur.

In Ruhe überwiegt die Brustatmung (Seidner und Wendler 1978). Diese ist allerdings in der Lage nur 1/3 des Atemvolumens zu fördern. Wohingegen die Bauchatmung fast 100% fördern kann. Dies macht sich der Sänger zu Nutze und benutzt sowohl die Brust, als auch die Bauchatmung kombiniert, um ein maximales Volumen für den Gesang zur Verfügung zu haben, was allen Musikern auch empfohlen wird (Husler und Rodd-Marling 1978, Sundberg 1997, Biesalski 1994).

Die Herausforderung für den Sänger ist es nun die Stütze effektiv zu nutzen, um ökonomisch mit der Energie, welche er für die Muskularbeit benötigt, umzugehen. Dies soll während des Gesangstudiums vermittelt werden und den Sänger im Anschluss des Studiums auf eine möglichst ohne diesbezüglich auftretende Störungen oder Probleme ablaufende musikalische Karriere vorbereiten.

2.2.3 Physiologie der Atmung von Bläsern

Neben den psychischen Belastungen (Erwartung des Publikums an ein fehlerfreies Musizieren), ist der physische Anspruch an einen Sänger und Bläser enorm. Beiden wird nicht nur eine unphysiologische Atmung auferlegt, in der die Expiration wesentlich länger ist, als die Inspiration (normal 2:1, beim Bläser bis zu 50:1) (Klöppel 2008, Singer 1926), sondern beide müssen auch in der Lage sein, Töne mithilfe der Atmung zu formen. Um einen gezielten, bzw. gleichmäßigen Luftstrom zu erzeugen ist der Bläser jedoch im Vergleich zum Sänger in der Lage mittels der Zunge am Mundstück den Luftstrom sowohl in kurze, als auch lange Segmente zu teilen. Laute Töne erfordern einen starken Luftstrom, kurze Töne erfordern, dass der Luftstrom in kurze Segmente geteilt wird (Farkas 1980). Laut Farkas ist der Schüler des Blasinstrumentes auf dem Weg zur richtigen Atmung, wenn er gelernt hat genau die Menge Luft einzusatmen, welche er auch für den kommenden Abschnitt verbrauchen wird. Die Ökonomie der Muskularbeit während der Atmung ist bei Blasinstrumentenspielern von besonderer Bedeutung, da unökonomische Prozesse beim Blasen die Entstehung von organischen Beschwerden und Erkrankungen fördern (Blum und Ahlers 1995). Diese Erkenntnis löste ein Umdenken in der Musikpädagogik aus (Schlenger 1935). Das primäre Ziel in der Ausbildung wurde der ökonomische Kräfteverbrauch. Mit wiederholter und dosierter Anforderung, d.h. üben, erreicht der Musiker den Zustand höherer Leistungsfähigkeit, womit der Energieverbrauch beim Musizieren sinkt und somit bei gleich bleibender äußerer Arbeitsleistung Muskularbeit eingespart wird, so dass nun auch Stücke mit höherer Anforderung an die Atemmuskulatur gespielt werden konnten. „Somit sind Technik und Übung zwei untrennbare Begriffe und Technik somit ein Mittel zum Zweck des künstlerischen Gestaltens“ (Schlenger 1935). Auch steigert das Training nicht nur die

verfügbare Muskelkraft, sondern vergrößert auch den Durchmesser der Blutgefäße des Muskels und zögert durch Veränderung des Muskelstoffwechsels die Ermüdung hinaus (Klöppel 2009). Das zeigt Bouhuys (1964), welcher einen Schüler im dritten Jahr der Konservatoriumsausbildung mit seinem Lehrer (langjähriger erster Hornist eines großen Orchesters) verglich. Der Schüler musste durchweg einen höheren Druck aufbauen, um die gleichen Töne und Lautstärke wie sein Lehrer zu erreichen. Dieser Effekt soll sich im Laufe einer professionellen Ausbildung zum Bläser legen, wenn der Schüler sowohl die adäquate Technik des Spielens, als auch den effizienten Einsatz seiner Atmung gelernt hat.

Der Druckaufbau bei der Atmung des Bläfers erfolgt willkürlich mithilfe der in- und expiratorischen Muskeln (siehe Tabelle 2.1). Der aufgebaute intrakorporale Druck beim Singen oder Blasen konnte bisher nur intraoral gemessen werden. Wie in Tabelle 2.2 zu sehen ist, gleicht der Druck von Alltagstätigkeiten dem Druck, welche Flötisten aufbringen müssen. Der Druck, welchen Blechbläser aufbringen, ist dagegen bis ca. vier- bis fünfmal so hoch (Kreuter et al. 2008, B. Schwab 2004).

Tabelle 2.2 Intraoral gemessene Anblasdrücke - modifiziert nach Kreuter (2008) – [1] Die maximal gemessenen Anblasdrücke variieren zum Teil bei verschiedenen Autoren

Instrument/Tätigkeit	Minimaler Anblasdruck (mmHg)	Druck-Mittelwerte (mmHg)	Maximaler Anblasdruck (mmHg) [1]
Holzbläser			
Flöte	0,5	1-6	25 - 78
Blechbläser			
Horn	5	9-35	115 - 119
Posaune	4	8-28	112 - 126
Tuba	2	6-22	76 - 78
Alltagstätigkeiten			
Pfeifen		5	
Sprechen		10	
Kerze ausblasen (50cm)		20	
Luftballon aufblasen		60	

Dieser Druck sollte vorwiegend durch die kosto-abdominale Atmung aufgebaut werden, da dieser Raum das größte Fassungsvermögen aufbringt, dass einer überflüssigen muskulären Aktivierung entgegenwirkt und somit für den Musiker am ökonomischsten ist (Schlenger 1935).

Ein weitere wichtige Voraussetzung für die Erzeugung von Tönen und Gestalten von Musikstücken ist das dem Musiker verfügbare Atemvolumen, welches durch die Inspiration aufgebaut wird. Je mehr Volumen dem Musiker zur Verfügung steht, desto längere ununterbrochene Passagen kann er mit seinem Instrument spielen. Auch hier steht der ökonomische Verbrauch der zur Verfügung stehenden Volumina im Vordergrund. So soll ein

Bläser nur das für die folgende Passage benötigte Volumen einatmen (Farkas 1980). Bei komplizierten und langen Tönen ist es aber auch erforderlich trotz kurzer Inspiration ein möglichst großes inspiratorisches Volumen aufzubauen. Ein Vergleich in Tabelle 2.3 zeigt, dass die kosto-abdominale Atmung, sowohl bei den Männern, als auch bei den Frauen das größte Lungenvolumen generiert, welches nötig ist, um lange Töne einwandfrei anzusetzen und diese auszuhalten. Erst dann ist es dem Musiker möglich sich nur auf die Spieltechnik zu konzentrieren.

Tabelle 2.3 Maximalkapazität der Lunge nach Barth (1911)

	Männer	Frauen
Schlüsselbeinatmung	2150 ccm	2000 ccm
Flankenatmung	3260 ccm	2540 ccm
Zwerchfellatmung	2680 ccm	2170 ccm
Kosto-Abdominal-Atmung	3960 ccm	2700 ccm

Die Schlüsselbein-, oder auch Schulteratmung genannt, äußert sich durch Hochziehen der Schultern, bzw. des Schlüsselbeins unter gleichzeitiger Einziehung der vorderen Bauchwand. Diese Atmung ist die unzweckmäßigste der hier verglichenen, weil die Luftmenge im Vergleich zu den anderen Atmungstypen am geringsten ist. Bei der Flankenatmung geschieht ein Heben der Rippen ohne Vorwölbung der Bauchdecke, während bei der Zwerchfell-Bauchatmung alle Bewegungen außer derjenigen der Bauchwand ausgeschaltet werden. Dieser Typus hat eine Bewegung der vorderen Bauchwand mit leichter Erweiterung der untersten Rippen zur Folge. Kombiniert man die Rippen- und Zwerchfellatmung, bei dem die Zwerchfellatmung einen besonderen Einsatz hat, so spricht man von der kosto-abdominellen Atmung. Die Vorwölbung des vorderen Zwerchfellteils verringert die auf die Baueingeweide wirkenden Druckverhältnisse. „Nach einem Grundsatz der allgemeinen Muskelmechanik bedarf ein Muskel in gedehntem Zustand einer geringeren Erregung und damit eines geringeren Sauerstoffumsatzes, um den gleichen Spannungsgrad zu entwickeln und damit die gleiche äußere Arbeit zu leisten, als wenn seine Ansatzpunkte genähert sind“ (Barth 1911).

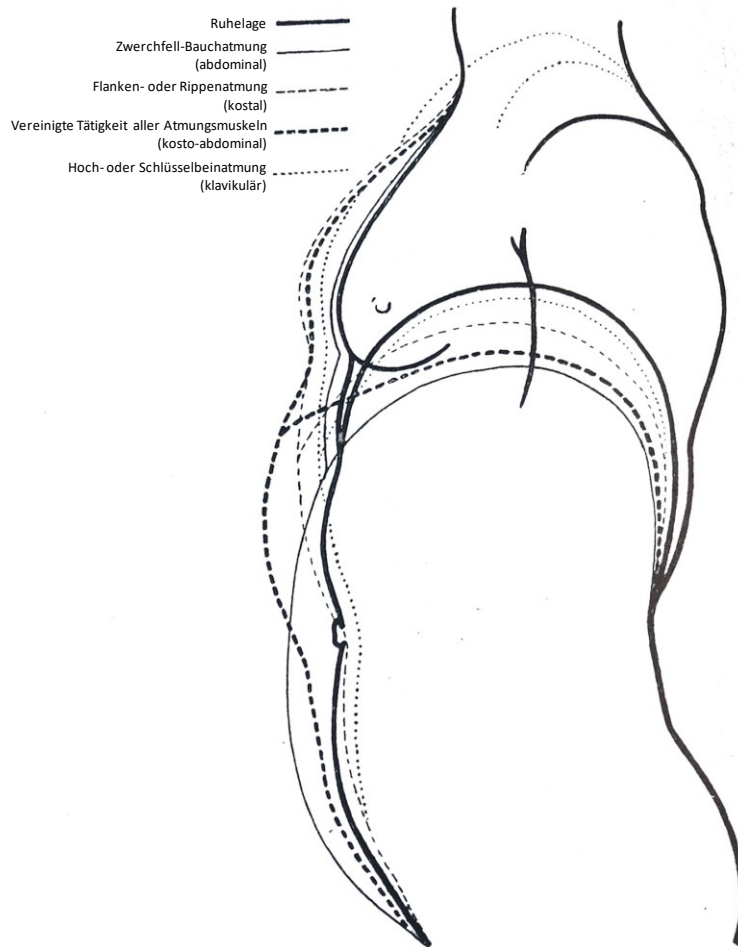


Abbildung 2.1 Profil des Rumpfes und Lage des Zwerchfells bei den verschiedenen Atemtypen (Schlenger 1935)

Eine Gemeinsamkeit, welche der Bläser mit dem Sänger teilt, ist der Einsatz der Stütze. Beim Bläser kommt allerdings hinzu, dass dieser nicht nur wie der Sänger den Kehldeckel als Widerstand hat, sondern es kommen noch die Zunge, Lippenöffnung und das Instrument selbst (als „Ansatz“) hinzu (Farkas 1980). Das Zusammenspiel dieser Kompartimente ermöglicht es dem Bläser den intraluminalen Druck zu halten und kontinuierlich, vor allem aber so dosiert abzugeben wie es für das Stück gebraucht wird. Somit entwickelt der Bläser im Laufe seiner Ausbildung ein sogenanntes „Druckgedächtnis“, mit dessen Hilfe er in der Lage ist, den ökonomischsten Druck für den jeweiligen Musikabschnitt aufzubauen (Frucht 1940). Bei einem Mangel oder Überschuss an Druck kann ein Umschlagen des Tons erfolgen, was es in jedem Fall zu vermeiden gilt, wenn es nicht als gestalterisches Mittel bewusst eingesetzt wird (besonders in zeitgenössischen Stücken).

2.2.3.1 *Untersuchte Instrumente*

Eine Unterteilung der Instrumente kann auf verschiedenste Weise durchgeführt werden. Folgende Einteilungen sind allgemein gebräuchlich:

- 1.) Einteilung nach der primären Schallerzeugung (Trendelenburg 1925). Hier wird zwischen Labialinstrumenten und Zungeninstrumenten unterschieden. Die Flöte zählt zu den Labialinstrumenten, wohingegen Horn, Trompete und Posaune zu den Zungeninstrumenten gezählt werden (Valentin et al. 1986).
- 2.) Einteilung nach Form des Ansatzes (nach Strayer). Hier werden vier Klassen unterschieden, die neben dem Ansatz an den Lippen, auch die Stellung des Ober- und Unterkiefers berücksichtigen. Zur Klasse A (Kesselmundstück) gehören u.a. Trompete, Horn, Posaune und die Tuba. Zur Klasse B (keilförmiges Mundstück) gehören Klarinette und das Saxophon. Die Klasse C (röhrenförmiges Mundstück) beinhaltet die Oboe und das Fagott. Instrumente der Klasse D (Öffnung seitlich im Kopfstück des Instruments) gehören die Querflöte und die Piccolo-Flöte an (Klöppel 2008).
- 3.) Einteilung nach der Bauart. Hier lassen sich Holz- von Blechblasinstrumenten unterscheiden. Die Flöte zählt hierbei zu den Holzblasinstrumenten und die Tuba, Horn und Posaune zu den Blechblasinstrumenten (Blum und Ahlers 1995). Diese Einteilung wird bevorzugt in dieser Arbeit genutzt, um auch weibliche (Flöten) und männliche Probanden (Tuba, Horn und Posaune) zu unterteilen.
- 4.) Einteilung nach dem Druck, welcher für die Erzeugung von Tönen aufgebracht werden muss. Diese Einteilung, welche für diese Arbeit mit am wichtigsten ist, unterteilt die Instrumente in sogenannte Wind- oder Druckinstrumente. Zu den Windinstrumenten gehören die Flöten. Hier entsteht der Ton vorwiegend durch das Anblasen von Luft an das Anblasloch, das den Luftstrom teilt bzw. diesen periodisch nach innen und außen lenkt. Ein großer Druck muss hierfür nicht aufgewandt werden. Im Gegensatz dazu stehen die Druckinstrumente (Posaune, Horn und Tuba), welche einen deutlich höheren Druck zur Erzeugung von Tönen erfordern (Richter 1980, Blum und Ahlers 1995, B. Schwab 2004, Kreuter et al. 2008).

Vor allem die druckbetonte Tonerzeugung ermöglicht eine zusätzliche Atemtechnik: die zirkuläre Atemtechnik. Hierbei wird während der Tonerzeugung der Mund mit zusätzlicher Luft gefüllt, dann der Rachen verschlossen und diese Luft durch Zusammenspiel zwischen Zunge und Wangenmuskulatur weiterhin zur Tonerzeugung verwendet. In der zur Verfügung stehenden Zeit bis zum Aufbrauch dieser im Mund befindlichen Luftmenge wird über die Nase extrem schnell inspiriert. Damit sind die Lungen wieder belüftet und unter Freigabe des verschlossenen Rachens erfolgt die (im Idealfall) kontinuierliche weitere Erzeugung des für die Tongebung erforderlichen Luftstromes. Theoretisch kann somit ein unbegrenzt langer Ton erzeugt werden. Die Technik wird für die Tonerzeugung (klassischerweise für das Didgeridoo), aber auch in handwerklichen Berufen (Glasbläser) eingesetzt. Insbesondere für Posaune und Tuba ist diese Technik aufgrund des weder zu hohen noch zu niedrigen Gegendruckverhaltens gut geeignet und wird entsprechend in der Ausbildung vermittelt. Dies sei hier aber lediglich der Vollständigkeit halber genannt und ist kein Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Holzblasinstrumente

Der Klang bei Holzblasinstrumenten wird durch Einblasen von Luft in eine Röhre erzeugt. Die Tonhöhe wird durch das Öffnen oder Schließen von Öffnungen des Instruments mittels der Finger des Spielers oder durch Betätigen von mechanischen Klappen verändert. Somit wird die schwingende Luftsäule verkürzt oder verlängert. Damit eine gute Verbindung zwischen Künstler und Instrument besteht ist eine präzise Instrumentenhaltung erforderlich die ein komplexes Zusammenspiel von kleinsten Muskeln und Gelenken erfordert. Das Spielen bedarf einer ungewöhnlichen Haltung und Bewegung (Blum und Ahlers 1995), die sich der Bauart des Instruments anpassen muss. Jedoch sollte es keine Anleitung für die korrekte Körperhaltung geben: „Es wäre verfehlt, wollte man eine „korrekte“ Stellung festlegen, von der beim Blasen so wenig wie möglich abgewichen werden darf. Wir sollten weniger von einer Haltung im Sinne von „Festhalten“ oder gar „Haltung-Annehmen“ ausgehen, als vielmehr vom „Verhalten“ uns selbst und dem Instrument gegenüber. Denn gute Körperhaltung ermöglicht richtige Atmung – gute Atmung ergibt richtige Körperhaltung“ (Richter 1980).

Zu den Holzblasinstrumenten gehören neben der in dieser Arbeit genutzten Querflöte noch die Oboe, Klarinette, Saxophon und das Fagott.

Die Querflöte.

„Die Flöte ist nicht ein „Apparat“, der von außen „bedient“ wird, sondern sie muss als ein bewegliches Werkzeug beinahe zum zusätzlichen Körperteil werden, mit dem die Fähigkeiten und Aktivitäten des Spielers unterstützt und erweitert werden. So ist der Bläser und nicht das Instrument der eigentliche Mittelpunkt, und das Flötenspiel nähert sich dem Gesang“ (Richter 1980). Allein dieses Zitat zeigt wie komplex das Flötenspiel ist. Der Flötist muss in der Lage sein, seine Ressourcen was die Kraftentwicklung anbelangt sinnvoll zu nutzen. Der Einsatz der Stütze ermöglicht ihm das Zusammenspiel von Druck und Gegendruck. Der Gegendruck, welcher beim Sänger mithilfe des Kehldeckels aufgebaut ist, wird beim Bläser durch den Ansatz definiert. Bei der Querflöte bietet dieser Ansatz allerdings einen zu geringen Luftwiderstand, da die Lippen des Flötisten nicht auf- sondern anliegen. Somit ist die Voraussetzung für einen automatisch entstehenden Stützdruck im Körper nicht gegeben. Der Flötist muss den Druck innerhalb des Körpers aufbauen, mit dem Ziel, dass es zu einem Zusammenspiel von Zwerchfell, Bauchmuskeln, Beckenboden und Brustkorb kommt (Scheufele-Osenberg 1999). Dieser Druck soll elastisch und angepasst und nicht gewaltsam und starr sein. Ein Großteil der Atemkraft fließt in die feinste Dosierung der ausströmenden Luft. Bei der Ausatmung kann das unkontrollierte Ausströmen der Luft allerdings zum Zusammenbruch der Stütze führen. Die Körperhaltung wird dann schlaff und eine kontrollierte Luftabgabe ist bis zum nächsten Atemzug nicht mehr möglich (Richter 1980).

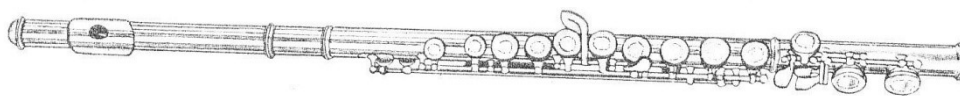


Abbildung 2.2 Darstellung einer Querflöte. Entnommen aus Silacka (1983)

Blechblasinstrumente

Beim Blechbläser wird der Ton dadurch erzeugt, dass beim Anblasen des Mundstückes eine Wechselwirkung zwischen den stehenden Wellen der Luftsäule im Instrument und den gegeneinander vibrierenden Ober- und Unterlippen des Spielers eintritt. Die Möglichkeit eine Tonfolge zu spielen bedarf der Integration von Ventilvorrichtungen. Das Ventil ist im gepressten (verschlossenen) Zustand eine Rohrverlängerung und somit maßgeblich für die Tonänderung verantwortlich. Die meisten gespielten Töne beim Blechbläser sind Obertöne eines Grundtons, die durch Überblasen hervorgerufen werden. Der Grundton (tiefster Ton)

ergibt sich somit aus der Länge des Rohres. Mithilfe von Ventilen lässt sich der Grundton verändern. Ausnahme hierbei ist die Posaune, hier wird die Tonhöhe durch Bewegen des Auszuges verändert. Die Fähigkeit, lange einen Ton zu halten, ist durch die Zeit der möglichen Expiration begrenzt, was wieder zeigt, dass es für den Bläser darauf ankommt, seine Atmung möglichst ökonomisch einzusetzen (Blum und Ahlers 1995). Von dem Blechbläser wird erwartet, die Kapazität des Instruments in Höhe und Tiefe, sowie Laut und Leise voll auszuschöpfen. Er muss also in der Lage sein, dynamische Kontraste zu erzeugen (von flüstern bis sehr laut). Hierzu bedient er sich folgender Hilfsmitteln: Veränderung des Ansatzes, Ökonomischer Einsatz der Atemstütze und Einhalten der korrekter Körperhaltung (Richter 1980, Blum und Ahlers 1995)

Das Horn

Das Horn besitzt ein kreisartiges gewundenes Rohr, vier Ventilen und endet mit großer, breiter Stürze (Schallbecher). Das Mundstück (Ansatz) ist trichterförmig. Das Instrument lastet normalerweise nicht auf den Schultern, sondern die Stürze liegt auf dem Oberschenkel. Unterstützt wird der Ton, indem die rechte Hand in der Stürze steckt (Schallbecher). Dies unterstützt die Intonation (Feinabstimmung der Tonhöhen) und Tonfarbgestaltung und dient der Haltung des Instruments im Stehen.

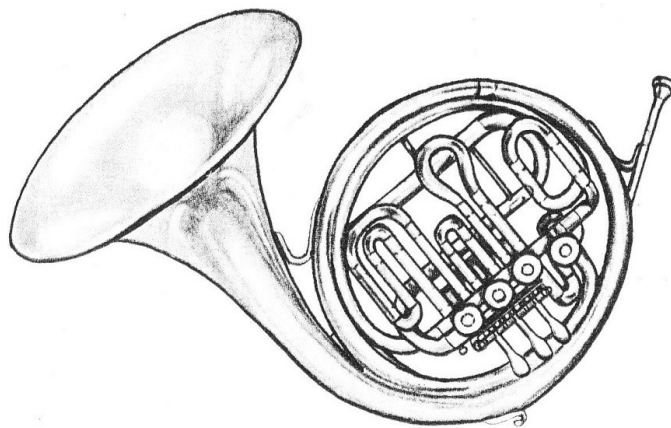


Abbildung 2.3 Darstellung des Horns. Entnommen aus Silacka (1983)

Die Posaune

Die Posaune besitzt in der originalen Bauart eine charakteristische Zugvorrichtung zur Rohrverlängerung, die mit jeweiliger Atemstärke dem Posaunisten zur Veränderung der Tonhöhe dient. Diese Zugvorrichtung besteht aus einem Rohr, welches am anderen Ende durch eine „Brücke“ verbunden ist. Die linke Hand des Posaunisten fixiert das Instrument, die rechte Hand das Überbrückungsstück der Zugvorrichtung. Die Technik basiert auf sieben Zugpositionen, wobei jede den Ton um einen Halbtonschritt vermindert. Professionelle Posaunisten sind allerdings in der Lage bis zu 36 Zugpositionen zu realisieren. Zur Erzeugung verschiedener Tonhöhen und deren Feinabstimmung bedarf es der Veränderung der Mundöffnung und –kontur des Spielers beim Anblasen des Mundstückes (Ansatzes). Qualität, Volumen, Weichheit und Schärfe des Tons hängen von der Art der Lippenschwingung, Ansatzpositionierung, Luftmenge und Luftdruck der durch das Instrument strömt ab. Je offener und unverkrampfter diese Luftsäule erzeugt wird, umso feiner und edler wird der entstehende Klang.

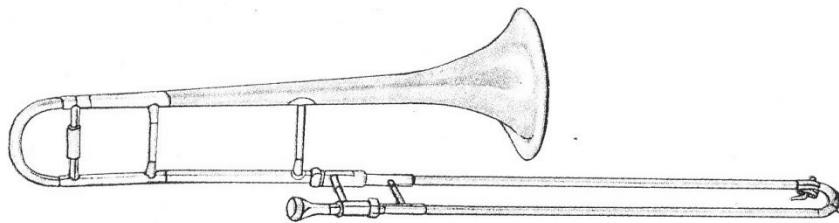


Abbildung 2.4 Darstellung einer Posaune. Entnommen aus Silacka (1983)

Die Tuba

Die Tuba ist das größte und klanglich tiefste Blechblasinstrument. Es wird aufrecht gehalten und auf dem Schoß, oder wie in diesem Versuch auf einem speziellen Instrumentenständer positioniert. Der Trichter weist in der Regel nach oben und vom Spieler aus gesehen leicht nach links. Die rechte Hand liegt auf den 3-6 Ventilen, die linke Hand stützt das Instrument. Im Vergleich zu anderen Orchestermusikern, besitzen die Tubisten die Tendenz, größere Lungenkapazitäten aufzuweisen (Blum und Ahlers 1995).

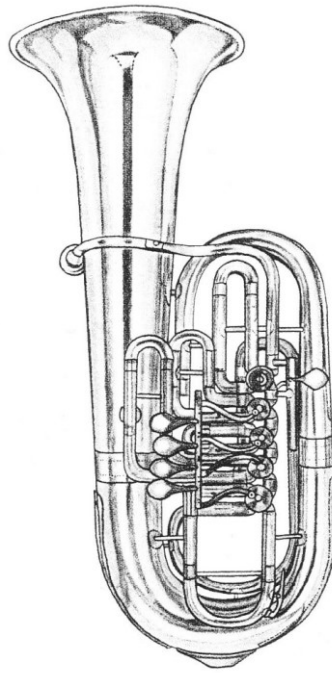


Abbildung 2.5 Darstellung einer Tuba. Entnommen aus Silacka (1983)

2.3 EMG

Um nun die muskuläre Aktivierung während des Musizierens mit den jeweiligen Instrumenten messen zu können, bedarf es eines Verfahrens, welches es erlaubt die Aktivierung der Muskulatur objektiv darzustellen. Für das Verständnis wie eine solche muskuläre Aktivierung entsteht, gemessen und ausgewertet werden kann, ist ein kurzer Einblick in die Physiologie der Muskulatur nötig. In den folgenden Abschnitten wird entsprechend auf die Entstehung und Ausbreitung von Aktionspotentialen, bis hin zur Generierung einer muskulären Antwort eingegangen.

Die Potentialschwankungen, welche mit der Kontraktion eines Muskels assoziiert sind, müssen dem auszuwertenden Untersucher für die Analyse zugänglich gemacht werden. Ein hierfür geeignetes Verfahren ist die Messung der elektrischen Potentialveränderungen entlang der Muskelfasern mittels Elektromyografie (EMG) (Basmajian und De Luca 1985, de Luca 1997). Damit können die neural gesteuerten Veränderungen der Muskelmembranpotentiale, welche die Muskelkontraktion auslösen durch Elektroden aufgenommen und analysiert werden. Das EMG ist ein breit eingesetztes Verfahren, welches unter anderem auch in der Rehabilitation, Physiotherapie, Sportwissenschaften und klinischen Neurologie genutzt und geschätzt wird.

2.3.1 Muskelphysiologie

Grundlage für die Entstehung eines elektrischen Signals ist das über die Muskelmembran wandernde Aktionspotential, welches durch eine Verschiebung des Ionengleichgewichtes (v.a. Natrium) an der Muskelfasermembran zu einer Depolarisation führt. Dieser elektrische Impuls wird während der Repolarisationsphase sofort wieder umgekehrt. Direkt im Anschluss erfolgt eine kurze Phase der Hyperpolarisation, in welcher die Muskelzellmembran kurzzeitig nicht erregt werden kann. Das generierte Aktionspotential wandert in bidirektionaler Richtung entlang der Muskelfasermembran. Der Ursprungsort der Aktionspotentiale ist die motorische Endplatte, ein wesentlicher Bestandteil der motorischen Einheit, die wiederum definiert wird durch ein Alpha-Motoneuron und der von ihm innervierten Muskelfasern (Schmidt et al. 2011). Der Umkehrbereich dieses Muskelaktionspotentials zwischen Depolarisation und Repolarisation beträgt in etwa ein bis drei mm^2 und wird auch als Depolarisationszone bezeichnet. Dieser Bereich wandert mit etwa zwei bis sechs m/s entlang der Muskelfaser. Die so erzeugten Potentialdifferenzen können mittels applizierter Elektroden gemessen werden, was im folgenden Abschnitt genauer beschrieben wird (Behrends 2010, Schmidt et al. 2011).

2.3.2 Aufnahme der Signale

Bei der Messung dieser Potentialdifferenzen können nun zwei unterschiedliche Messverfahren unterschieden werden: die invasive Nadelelektromyografie und die nicht invasive Oberflächenelektromyografie (OEMG) (Freiwald et al. 2007). Diese beiden Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Elektrodenplatzierung, Genauigkeit der gemessenen Aktivitäten und Toleranz des Probanden. Bei der Nadelelektromyografie wird eine Nadelmesselektrode invasiv in den Muskel eingebracht. Diese besitzt eine kleine Ableitfläche und ist somit in der Lage einzelne Muskelfasern zu messen. Ein großer Nachteil ist hier allerdings die Invasivität und somit auch das damit verbundene Infektionsrisiko sowie die niedrige Compliance des Probanden (Freiwald et al. 2007). Das Einbringen der Nadelelektroden durch die Haut in den Muskel ist für den Patienten, bzw. den Probanden sehr schmerzhaft und somit für eine fakultative Messung eher ungeeignet. Daher wird dieses Verfahren vor allem unter strenger klinischer Indikationsstellung genutzt, wie zum Beispiel in der Neurologie zur Diagnostik von neuromuskulären Erkrankungen.

Die praktische Alternative hierzu, welche auch im Rahmen dieser Arbeit genutzt wurde, stellt das OEMG dar. Hierbei werden Flächenelektroden auf der Haut, also nicht invasiv, platziert. Diese erfassen die Aktionspotentiale der darunter liegenden Muskelfasern (Freiwald et al. 2007). Im Gegensatz zur Nadelmesselektrode werden bei dieser Ableitung mehrere Muskelfasern eines Muskels zeitgleich abgeleitet. Nachteilig ist, dass tiefer liegende

Muskelschichten mit dem OEMG somit nicht erfasst werden können. Ein großer Vorteil hingegen ist jedoch die Möglichkeit der Ableitung vieler Muskeln zur gleichen Zeit. Außerdem spricht die einfache, risikoarme und gut tolerierbare Anbringung der Elektroden für das Ableitverfahren mittels OEMG.

Aufgrund des Abstandes zwischen generiertem Potential in der Tiefe des Gewebes und detektierender Elektrodenfläche an der Hautoberfläche unterliegt das OEMG allerdings einer Anzahl von Störfaktoren. Dazu gehört die Beschaffenheit und Dicke des Unterhautfettgewebes, welches als natürlicher Tiefpassfilter fungiert und besonders bei beleibteren Personen dazu beiträgt, das Signal abzuschwächen (Farina et al. 2002a, Farina et al. 2004). Tiefpassfilter bedeutet hierbei, dass hohe Frequenzanteile des Signals herausgefiltert werden und somit verloren gehen. Auch der Hautwiderstand, welcher in gleicher Weise wirkt, beeinflusst die OEMG-Signale. Nicht zuletzt sind, aufgrund der Verschiebbarkeit von Haut und Muskulatur, Bewegungsartefakte eine weitere zu beachtende Störgröße bei der Aufzeichnung des OEMGs. Mit einem optimalen Versuchsaufbau ist es aber möglich, die technischen Störgrößen auf ein Minimum zu reduzieren (Merletti et al. 2001, Farina et al. 2002a).

Bei OEMG- Messungen kann man zwischen zwei Ableitmethoden unterscheiden: Die monopolare und bipolare Ableitung. Bei der monopolaren Ableitung wird die Potentialdifferenz zwischen einer differentiellen Elektrode, die über der interessierenden Region angebracht ist gegen eine Referenzelektrode auf einer elektrisch weitgehend inaktiven Region gemessen und durch einen Differenzialverstärker verstärkt (Freiwald et al. 2007).

Bei der hier verwandten bipolaren Ableitung werden zwei Elektroden entlang der jeweiligen Muskelfaserrichtung auf der Haut fixiert. Als optimaler Abstand wird ein Interelektrodenabstand von 1-3 cm favorisiert (De Luca und Knaflitz 1992, Farina et al. 2002b, Basmajian und De Luca 1985). Die korrekte Positionierung der Oberflächenelektroden ist für eine intra- und interindividuelle Vergleichbarkeit essentiell. Hierfür orientiert man sich an standardisierten Orientierungspunkten und Platzierungsvorschriften (Hermens et al. 1999) welche in vielen elektromyografischen Untersuchungen genutzt wurden. Solche Platzierungspunkte befinden sich zentral über dem Muskelbauch des zu untersuchenden Muskels (Beck et al. 2009). Je weiter dieser Punkt vom Rand eines Muskels entfernt ist, desto geringer ist der durch benachbarte Muskeln einstreuende „cross talk“. Hierunter versteht man die einstreuenden elektrischen Signale von benachbarten Muskeln, welche einen Anteil von 10-15% des Gesamtsignals nicht überschreiten sollten (de Luca 1997, Farina et al. 2002b, Farina et al. 2004). Vor dem Anbringen der Elektroden auf der Hautoberfläche muss diese

sowohl gereinigt, als auch mit einer abrasiven Reinigungspaste behandelt werden. Dies dient der Reduktion des Hautwiderstandes und vermindert so Signalstörungen (Basmajian und De Luca 1985). Anschließend werden die zwei Elektroden platziert, die Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden registriert und mit einem Differentialverstärker verstärkt.

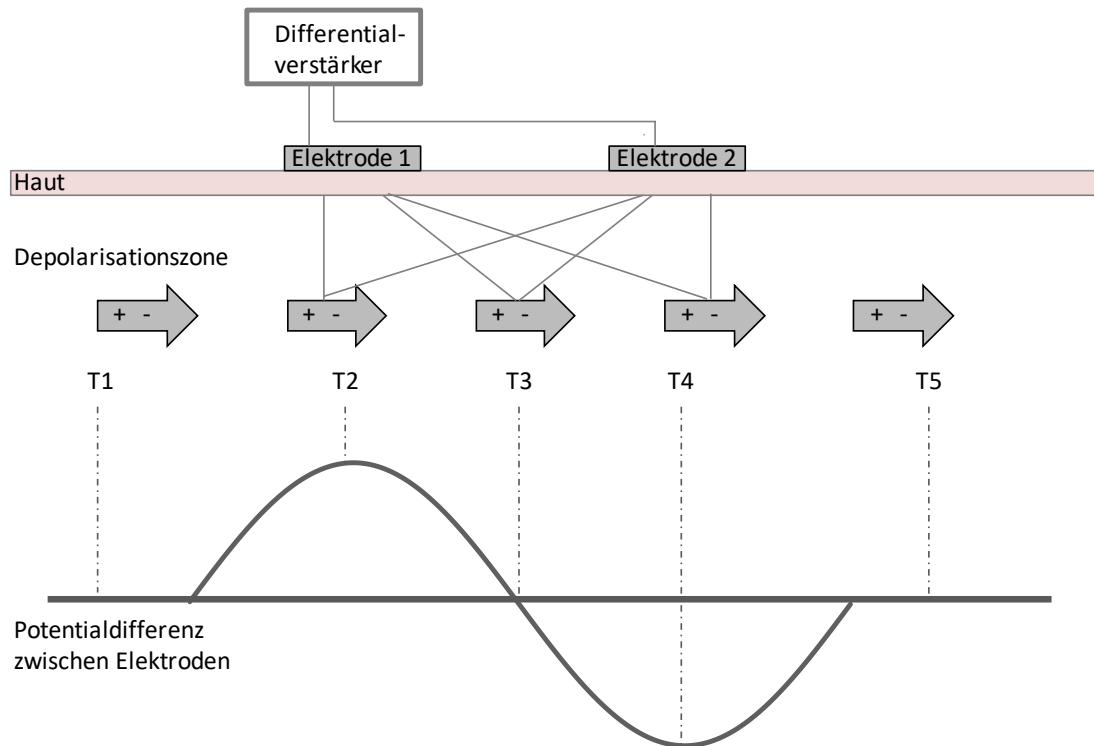


Abbildung 2.6 Modell einer bipolaren Ableitung einer Depolarisationszone die sich entlang einer Muskelfaser unter den Elektroden ausbreitet. Die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden wird verstärkt und aufgezeichnet; verändert nach Kumar 1996.

Wie in Abbildung 2.6 dargestellt, ist das Signal in Abhängigkeit von der Laufrichtung des Aktionspotentials zur Elektrode positiv oder negativ. Die Abbildung zeigt deutlich die Registrierung des Muskelaktionspotentials: zum Zeitpunkt T1 ist die Depolarisation zu weit von der Elektrode entfernt, es wird keine Potentialdifferenz gemessen. Zum Zeitpunkt T2 hat die Depolarisationszone den kleinsten Abstand zur ersten Elektrode, somit ist die Differenz zwischen den Elektroden maximal. Zum Zeitpunkt T3 ist die Depolarisationszone genau zwischen den beiden Elektroden, sodass erneut keine Potentialdifferenz registriert wird. Bei T4 ist die Depolarisationszone direkt unter der zweiten Elektrode, es resultiert eine maximale Potentialdifferenz, jedoch in entgegengesetzter Richtung. Zum Zeitpunkt T5 ist die Depolarisationszone zu weit von der zweiten Elektrode entfernt, sodass erneut keine Potentialdifferenz gemessen werden kann.

Wichtige Vorteile der bipolaren Ableitung gegenüber der monopolen Ableitung sind ein vermindertes Rauschen und eine bessere räumliche Auflösung (De Luca und Knaflitz 1992).

Bei der Aktivierung eines Muskels werden mehrere motorische Einheiten und mehrere Muskelfasern aktiviert. Das EMG-Signal stellt somit ein Summenpotential vieler motorischer Einheiten dar (Freiwald et al. 2007).

Die Beanspruchung der Muskulatur lässt sich nun durch den Bezug zu einem Referenzwert analysieren. Bei der etablierten Maximum Voluntary Contraction - Normierung (MVC) werden die OEMG-Amplituden auf die vorher ermittelte maximale Muskelkontraktion normalisiert (Freiwald et al. 2007). Für die Abschätzung der individuellen Beanspruchung geht man davon aus, dass es einen linearen Zusammenhang zwischen gemessener OEMG-Amplitude und erzeugter Kraft gibt. Es lässt sich also bei einer bekannten Amplitude eine Aussage über den Grad der Beanspruchung treffen. Dieses Verfahren wird allerdings bevorzugt zur Messung von einzelnen Muskeln angewandt, bspw. dem M. biceps brachii (Burden und Bartlett 1999, Freiwald et al. 2007) und ist somit für diese Arbeit ungeeignet. Effekte unterschiedlicher Beanspruchung durch die Änderung äußerer Bedingungen, können aber auch ohne MVC-Normierung betrachtet werden. Dies gelingt mit der Expected-Maximum-Contraction-Normierung (EMC). Dieses Verfahren versteht sich als Normierung im Bezug auf ein gemessenes individuelles übungsspezifisches Aktivitätsmaximum. Es hat sich in der Untersuchung von Muskelgruppen weitestgehend etabliert (Marras und Davis 2001, Marras et al. 2001) und wurde somit auch in dieser Arbeit angewandt. Als Referenz für das übungsspezifische Maximum wurde in dieser Untersuchung die maximale In- und Expiration gewählt.

3 Ziele der Arbeit

Wie unter 2.1 erwähnt, ist eine Ökonomisierung der Muskularbeit während der musikalischen Laufbahn nötig, um Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems zu vermeiden, bzw. hinaus zu zögern. Da in der bisherigen Literatur nur auf Erkrankungen des Bewegungsapparates eingegangen wurde, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Aktivierungsmuster der Atemmuskulatur. Hierfür wird an die Arbeit von Jähkel (2014) angeknüpft, um die dort untersuchten Sänger nun mit den Bläsern zu Beginn des Musikstudiums hinsichtlich ihrer muskulären Aktivierungscharakteristika zu vergleichen. In dieser Arbeit wurden dieselben Muskeln (siehe Tabelle 4.2) wie bei Jähkel gewählt, um eine direkte Vergleichbarkeit der beiden Arbeiten zu gewährleisten. Ebenfalls erfolgte die vorliegende Untersuchung zu Beginn des Studiums. Erst nach der Untersuchung der Eingangssituation der Künstler (Sänger und Bläser) ist es möglich diese Ergebnisse mit zukünftigen Ergebnissen zu vergleichen und somit eine potentiell krankmachende, fehlende Ökonomisierung objektiv darstellen zu können.

Da aus anderen Arbeiten bekannt ist, dass Unterschiede in der Aktivität der Rumpfmuskulatur zwischen Frauen und Männern bei verschiedenen Aktivitäten zu berücksichtigen sind und aufgrund der geringen Stichprobenzahl in dieser Arbeit eine potentielle Varianzerhöhung vermieden werden sollte, wird im Folgenden eine geschlechtsspezifische Betrachtung vorgenommen.

Folgende Hypothesen sollen mithilfe der Ergebnisse überprüft werden:

1. Es ist bekannt, dass Flötistinnen (Holzbläserinnen) einen niedrigeren Anblasdruck beim Musizieren benötigen als Blechbläser. Daher ist zu erwarten, dass deren Anstrengungsmaß niedriger ausfällt, als das der Blechbläser und somit weitgehend dem der Sängerinnen entspricht.
2. Blechbläser zeigen aufgrund des höher aufzubringenden Druckes für das Blasen von Blechinstrumenten ein höheres Anstrengungsmaß als Sänger.
3. Während des Einatmens und der gesamten Übung weisen Bläser im Vergleich zu den Sängern einen größeren Umfang von Thorax und Abdomen (in Bezug zur maximalen In- und Expiration) auf.

4. Aufgrund der unterschiedlichen Technik zur Tonerzeugung bei Sängern und Blechbläsern weisen beide Gruppen (Sänger vs. Bläser) während der Einatmung und der gesamten Übung ein unterschiedliches muskuläres Aktivierungsmuster auf.

4 Material und Methoden

Die vorliegende Arbeit ist in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Musik Carl Maria von Weber in Dresden und der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Fachbereich Motorik, Biomechanik und Pathophysiologie der Friedrich Schiller Universität Jena entstanden. Dem Projekt lag durch die Ethikkommission ein positives Votum vor (Bearbeitungs-Nr. 2320-06/08) und wurde durch das Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Freistaates Sachsen gefördert (Förderkennzeichen: 4-7531.50-03-2800-08/1). Als Teil einer Langzeitstudie, welche sich mit der muskulären Koordination, Atmung und Qualität von Sängern und Bläsern vor, während und nach einer professionellen Gesangs- bzw. Instrumentalausbildung beschäftigt, widmet sich diese Arbeit dem Zeitpunkt des Eintritts zum professionellen Instrumentalstudium. Es wird geprüft inwieweit sich muskuläre Koordinationsmuster bereits zu Beginn des Studiums bei den jeweiligen Probanden erkennen lassen. Bei späteren Messungen soll dann geprüft werden, ob sich das Koordinationsmuster der Probanden ändert.

Bei den Untersuchungen mussten die Probanden vier unterschiedliche, jedoch fest definierte Übungen darbieten. Diese waren identisch zu den Übungen aus der Arbeit von Jähkel. Während der Übung wurde sowohl mit einem Oberflächen-EMG (OEMG) die Muskelaktivität ausgewählter Rumpfmuskeln, als auch die Thoraxexkursion im Brust-, Flanken- und Bauchbereich, mit Hilfe von elastischen, dehnungssensiblen Bändern, registriert.

4.1 Probanden

An der Studie nahmen insgesamt 35 Studenten (23 Sänger und 12 Instrumentalstudenten) im Alter von 18 bis 26 Jahren (Mittelwert: 20,6; Median: 20) teil, wovon 20 weiblich und 15 männlich waren. In dieser Arbeit werden vorrangig die 12 Instrumentalstudenten untersucht. Hiervon waren 7 weiblich und 5 männlich (Mittelwert: 20,25 Median: 20). Die Nummerierung der Probanden erfolgt teilweise nicht fortlaufend, da die Sänger, von Jähkel (2014) bereits aufgeführt, der Übersicht wegen weggelassen wurden.

Um bei der Datenauswertung nicht nur die unterschiedlichen Geschlechtsspezifika, sondern auch die Charakteristik des Spiels der einzelnen Blasinstrumente zu berücksichtigen, war es notwendig die Gruppe der Bläser diesbezüglich zu strukturieren. Es erfolgte die Sortierung nach Geschlecht und Musikinstrument, so dass zur Varianzminimierung letztendlich zwei Gruppen von Probanden beschrieben werden: eine Gruppe bestehend aus vier Probandinnen, welche allesamt Querflöte spielten und eine Gruppe bestehend aus 4 Männern, welche als

Blechbläser in etwa die gleiche Spiel- und Blastechnik besitzen. Dadurch wurden beide Gruppen stark minimiert, was einen statistischen Vergleich schwierig macht. Auf diese Problematik wird in der Fehlerbetrachtung unter 6.3.1 erneut eingegangen.

Tabelle 4.1 Probandenauflistung (Fett hervorgehoben die letztlich betrachteten Probanden)

Lfd. Nr.	Alter	Geschlecht	Musikinstrument (Unterrichtsjahre)
P11	25	M	Tuba (4)
P12	18	W	Querflöte (8)
P13	20	W	Fagott (8)
P14	20	M	Posaune (11)
P15	21	W	Querflöte (12)
P16	21	W	Querflöte (8)
P17	21	M	(B) Klarinette (10)
P33	19	M	Horn (11)
P34	19	W	(A) Klarinette (7)
P35	20	W	Horn (6)
P36	19	W	Querflöte (11)
P37	20	M	Tuba (13)

4.2 Untersuchung

4.2.1 Untersuchungsaufbau

Im Vorfeld der Untersuchung erklärten sich alle Probanden schriftlich mit der Untersuchung und der Vorgehensweise einverstanden. Im Anschluss kennzeichnete immer der gleiche erfahrene Untersucher die korrekte Lage der Elektroden (siehe Tabelle 4.2), welche sich, soweit verfügbar, an international einheitlichen Landmarken orientierten (SENIAM, www.seniam.org). Die Hautstellen wurden wenn nötig vorher vorsichtig rasiert, um Störeinflüsse zwischen Haut und Elektrode zu minimieren. Außerdem wurden anschließend die haarfreien Stellen mit einer Abrasionspaste (Epicont, General Electrics Healthcare, Deutschland) und Tupfer gesäubert. Darauf wurden dann die Ag/AgCl Oberflächenelektroden (H93SG, Kendall, Covidien, Deutschland) entlang des Faserverlaufs des zu untersuchenden Muskels aufgeklebt (Interelektrodenabstand 2,5 cm). Zusätzlich zu den Muskelableitungen wurde das EKG aufgezeichnet, um später in der Auswertung die Störungen durch die elektrische Aktivität des Herzens herausfiltern zu können. Auch wurden drei

dehnungssensitive Bänder angelegt, um die Thorax- und Bauchexkursion für die In- und Expiration aufzuzeichnen.

Für Proband P37 wurde ein Gestell für die Tuba bereitgestellt, sodass sie nicht aktiv gehalten werden musste.

Tabelle 4.2 abgeleitete Muskeln und Elektrodenlokalisierung

Muskel	Elektroden-/ bzw. Bandposition	Abkürzung
M. rectus abdominis	Kaudale Elektrode Höhe Nabel, 4cm von Mitte, vertikal	RA
M. obliquus internus	Medial Inguinalfalte, Höhe Spina Iliaca anterior superior, horizontal	OI
M. obliquus externus	Ca. 30° nach unten, Hälfte Distanz Rippenbogen – Beckenkamm, seitliche Körperkontur	OE
M. quadratus lumborum	Neben Muskelbauch Multifidus, Hälfte zwischen 12. Rippe und Crista iliaca, vertikal	QL
M. multifidus	Höhe L5, 1cm medial der Linie Spina iliaca posterior superior – L1	MF
M. erector spinae (pars iliocostalis)	Höhe L2, medial der Linie Spina iliaca posterior superior – Unterkante Rippenbogen	EI
M. erector spinae (pars longissimus)	Höhe L1, 2 Finger lateral des Processus spinosus auf Muskelbauch nach kranial	EL
M. latissimus dorsi	½ Distanz Linie hintere Achselfalte - L1, auf der Linie	LD
M. serratus anterior	Höhe Xiphoid, seitliche Körperkontur, 45° nach dorsal ansteigend, auf Linie	SA
M. sternocleidomastoideus	Nach kranial, beginnend ca. 2cm oberhalb Clavicula, entlang Muskelkontur	SCM
M. pectoralis major	Hälfte Abstand Achselfalte – Sternum, waagerecht	PM
Trapezius descendens	Proximale Elektrode ½ Distanz zwischen C7 und Acromion, auf Linie	TD
Intercostale (5. ICR)	5. ICR, vordere Achsillarlinie (Höhe Xiphoid)	IC5

Intercostale (8. ICR)	8. ICR, vordere Achsillarlinie	IC8
Diaphragma	7.-8. ICR, Medioclavicularlinie, senkrecht	DPR
EKG	Oberkörper Sternum gegen Herzspitze	EKG
Band 1	Höhe direkt unter Achseln	B1
Band 2	Hälfte der Distanz zwischen Band 1 und Band 3	B2
Band 3	oberhalb des Beckenkamms	B3

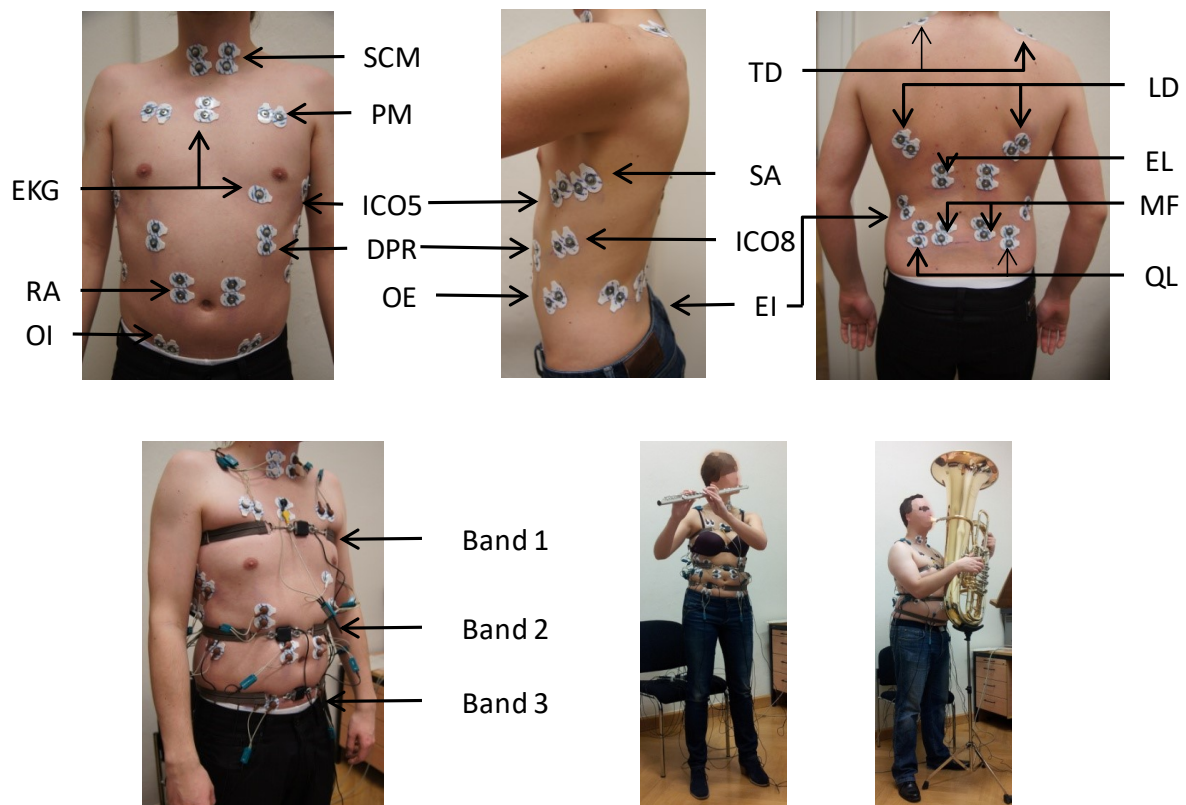


Abbildung 4.1 Position der Elektroden und Bänder, rechts unten: Messsituation beim Spielen der Übungen

Nachdem alle Elektroden wie oben beschrieben angebracht und über die Verstärker mit dem Messsystem verbunden waren wurden die Studenten mit 30 cm Abstand vor dem Mikrophon für die Stimmprobe positioniert. Dank eines speziell für diese Testreihe hergestellten Signalverstärkers (Spezialanfertigung, Studio für Stimmforschung Dresden, Prof. em. Dr.-Ing. Gert Hofman, Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden) konnte das Tonsignal mit dem OEMG- und Banddehnungsableitungen simultan gemessen und somit beurteilt werden. Vor jedem Durchlauf konnte nun mit den durch die Erfassungssoftware (GJB, Deutschland) visualisierten Aktivitäten Störsignale identifiziert und gegebenenfalls korrigiert werden. Im Anschluss folgte die eigentliche Untersuchung, die im Folgenden beschrieben wird.

4.2.2 Untersuchungsablauf

Angefangen wurde bei allen Probanden mit einer Ruhemessung über 20 Sekunden. Hierfür musste der Student ohne Instrument in vollkommener Ruhe mit locker herabhängenden Armen zur Messung bereitstehen. Im Anschluss folgte eine zweite Ruhemessung mit gehaltenem Instrument, um die Aktivität der Muskeln, welche durch das alleinige Halten des Instrumentes verursacht wird zu quantifizieren und somit für spätere Analysen zu berücksichtigen.

Zur Kalibrierung des Thoraxumfangs mussten alle drei dehnungssensitiven Bänder berücksichtigt werden. Hierfür war es notwendig drei Übungen ohne Instrument durchzuführen. Die ersten zwei Kalibrierungen bestanden darin, maximal in den Thorax und den Bauch einzuatmen (maximale Inspiration) und diese Endstellung ca. 5 Sekunden beizubehalten. Hierbei war wichtig, dies nicht über den Verschluss der Stimmritze, sondern aktiv über die weitere Anspannung der entsprechenden Muskeln ("sängerisch offen halten") zu gewährleisten. Bei der dritten Kalibrierung mussten die Probanden maximal ausatmen (maximale Expiration). Dann folgten die einzelnen Instrumentalübungen, die aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den ebenfalls im Projekt untersuchten Sängern in gleicher Art und Weise für alle Probanden durchgeführt wurden:

Begonnen wurde immer mit dem Vokalausgleich, bei dem jeder Teilnehmer die Vokale A-E-I-O-U für je eine Sekunde so gut wie möglich artikulierte und den Ton dabei auf gleicher Tonhöhe für jeweils 1-2 Sekunden halten musste.



Bei der nächsten Übung, dem Dur-Dreiklang (Grundton, Terz und Quinte einer Tonleiter), wurde Grundton und Terz hoch gespielt, die Quinte für ca. fünf Sekunden gehalten und dann wieder über die Terz wieder der Ausgangsgrundton gespielt.



Die darauf folgende Dur-Tonleiter (gespielt im Staccato) wurde vom Grundton aufwärts bis zur None (lat. „Neunte“; ein Ton höher als Oktave) gespielt und dann wieder abwärts bis zum Grundton, welcher für ca. drei Sekunden gehalten werden sollte.



Bei der letzten Übung, dem Schwellton, wurde der Ton ausgehend von pianissimo bis forte gesteigert, so lange wie möglich gehalten und anschließend wieder bis pianissimo abgebaut.



Jede einzelne Übung wurde insgesamt fünf Mal durchgeführt. Am Ende der gesamten Übungen folgte eine weitere Ruhemessung von 20 Sekunden Länge, ohne Instrument.

4.3 Datenaufzeichnung

Das elektrische Signal der Elektroden wurde durch einen elektrodennahen Bipolarverstärker (5 bis 700 Hz, RC-Filter 1. Ordnung, Biovision, Deutschland) um den Faktor 1000 verstärkt. Anschließend wurde das analoge Signal durch den Tower of Measurement (ToM, DeMeTec, Deutschland) mit einer analog-digital (AD) Wandlungsrate von 2000/s und einer Auflösung von 24bit digitalisiert und an einen Messlaptop weitergeleitet. Dort konnten die Daten mittels der Erfassungssoftware (Firma GJB, Deutschland) visualisiert und zur simultanen Artefaktelimination genutzt werden. Parallel dazu wurde mit oben beschriebenem Mikrophon die Akustik und einer zusätzlichen Videokamera Ton und Bild aufgezeichnet. So war es später in der Auswertung möglich, mithilfe des Videoprotokolls die einzelnen OEMG-Kanäle parallel zu Ton- und Videosequenz zu betrachten.

4.4 Signalverarbeitung

4.4.1 Allgemeine Signalverarbeitung

Die aufgezeichneten Daten konnten nun mit dem Markierungsprogramm ATISA Pro (GJB, Deutschland) weiter verarbeitet werden. Mit diesem Programm war es möglich, definierte Bereiche der einzelnen Übungen zeitlich genau zu markieren, damit diese später automatisch weiterverarbeitet werden konnten. Dies betraf sowohl markante Bereiche der Übungen selber als auch die jeder Übung vorausgehende Inspirationsphase.

Für die Berechnung der Referenzwerte mussten zuvor die Bereiche mit den Aktivitätsmaxima markiert werden.

Anschließend konnten nun mit Hilfe der Bandausdehnung die Bereiche der Inspiration vor jeder Übung markiert werden (Beginn der Bandausdehnung bis erstes Tonsignal). Bei der Markierung der ganzen Übung wurde ebenfalls das Tonsignal als Hilfe genommen. Markiert wurde hier der gesamte identifizierbare Bereich der Tonproduktion.

Im Anschluss folgten weitere Markierungen speziell für jede einzelne Übung.

Im Vokalausgleich wurden die Bereiche der einzelnen Vokale unter anderem wieder mit Hilfe des Tonsignals markiert. Beim Dreiklang wurden die einzelnen Bereiche (Grundton, Terz und Quinte) vom jeweils ersten Ton bis Ende der Muskelaktivität markiert. Bei der Tonleiter wurden die einzelnen Töne bis zur None und die Töne von der None bis zum letzten Ton markiert. Dies diente vor allem der späteren dynamischen Auswertung. Der letzte Ton wurde noch einmal separat als Bereich markiert, was für die statische Auswertung wichtig war. Bei der letzten Übung, dem Schwellton, wurde ein festgelegter Bereich von je zwei Sekunden am Beginn, am Ende sowie zum Lautstärkemaximum der Übung markiert (Anfang, Mitte und Ende).

Alle Markierungen wurden für die jeweils fünf Durchgänge der vier Übungen gesetzt.

Mit der Software MATLAB (The Mathworks Inc., USA) wurden nun alle Dateien gleich bearbeitet: um Störungen von außen zu beseitigen, mussten Gleichspannungsanteile entfernt werden. Zur Reduktion von Artefakten gab es zu Beginn eine Hochpassfilterung bei 10 Hz. Es folgte ein Bandsperrfilter bei 50, 150, 250, 350 Hz, die unten stehende doppelte EKG-Elimination und zum Abschluss eine Tiefpassfilterung bei 300 Hz, weil der sinnvoll auszuwertende Frequenzbereich des OEMG-Signals deutlich unterhalb dieser Grenze liegt.

4.4.2 EKG-Elimination

Ein nicht unerheblicher Störfaktor für das OEMG sind die elektrischen Aktivitäten des Herzens (Elektrokardiogramm, kurz EKG). Da diese Spannungsänderungen, abhängig von der Entfernung und der Elektrodenausrichtung in Bezug auf den Herzvektor zum abgeleiteten Muskel, einen unterschiedlichen Störeinfluss haben musste jeder einzelne Muskel separat korrigiert werden. Dies wurde mittels eines eigens für jeden Muskel erstelltes Template (dt. Schablone) ermöglicht. Hierfür musste zunächst anhand des EKG-Kanals jeder Herzzyklus auf der R-Zacke markiert werden. Ein eigens dafür entwickeltes Skript (MATLAB, Deutschland, Programmierung: Dr. Ch. Anders) konnte hierfür genutzt werden. Eine Kontrolle blieb dennoch nicht aus, da beispielweise Artefakte und Extrasystolen nicht erfasst wurden. Diese mussten dann im ATISA Pro dargestellt und manuell nachgetragen werden. Durch die Mittelung in einem Bereich (± 100 ms) um alle markierten EKG-Signale wurden separat für jeden Muskel Templates berechnet, die über eine Cosinus-Funktion gewichtet wurden. Damit wurde sichergestellt, dass keine neuen Artefakte durch das Template, insbesondere im Randbereich entstehen. Nun konnte das Template an allen identifizierten Positionen in jedem Kanal abgezogen und somit das EKG-Störsignal aus den Ableitungen entfernt werden (Mörl et al. 2010).

Die so bearbeiteten Daten wurden als rms-Werte (root mean square; dt. quadratische Mittel) ausgegeben. Hier wird aus der quadrierten mittleren Muskelaktivität die Wurzel gezogen. Diese reflektiert die mittlere Leistung des EMG - Signals und wird standardmäßig als Glättungsalgorithmus eingesetzt.

4.4.3 Elimination haltebedingter Einflüsse

Um systematische Fehler durch die während der Haltung der Instrumente aufzuwendende Haltearbeit zu korrigieren, wurde bei den Bläsern noch die muskuläre Aktivität, welche durch das Halten des Instrumentes zustande kam, korrigiert. Hierfür wurden die Muskelaktivitäten während der oben beschriebenen Ruhemessung ohne Instrument, von der Ruhemessung mit Instrument abgezogen und somit ein Korrekturwert für die gemittelten EMG-Werte erstellt. Dieser Korrekturwert wurde dann von allen Werten der Bläser abgezogen, um die durch die Halteleistung entstandene Muskelaktivität herauszufiltern.

4.5 Auswerteparameter

Aufgrund der Tatsache, dass die OEMG Daten einer großen interindividuellen Variabilität unterliegen, werden sie üblicherweise Normierungsmethoden unterzogen. Dafür gibt es verschiedene Ansätze die alle ihre Berechtigung haben, aber jeweils auch Nachteile aufweisen. Deswegen wurden mehrere verschiedene Normierungsmethoden angewendet. Grundlegend lassen sich zwei Betrachtungsweisen unterscheiden: die zeitunabhängige und die zeitabhängige Betrachtung.

4.5.1 Zeitunabhängige Betrachtung

Innerhalb des jeweils betrachteten Zeitraums wurden die Muskelaktivitäten gemittelt. Sie sind damit unabhängig von im Verlauf des jeweiligen Analyseabschnitts auftretenden Veränderungen und können somit als zeitunabhängig betrachtet werden. Es wurden zwei Parameter ermittelt: das Anstrengungsmaß und die intermuskuläre Koordination.

4.5.1.1 Anstrengungsmaß

Das Anstrengungsmaß entsteht durch die Normierung der mittleren Amplituden auf das Referenzmaximum. Dieses Referenzmaximum beschreibt das Amplitudenmaximum in einem vorher festgelegten (markierten) Bereich mit maximaler Muskelaktivität. Zur Ermittlung der Referenzsituation wurde das OEMG während maximaler Inspiration und maximaler Expiration abgeleitet. Die dabei erreichten Maximalwerte gelten als Referenz (100%).

4.5.1.2 *Intermuskuläre Koordination*

Die intermuskuläre Koordination entsteht durch Ermittlung des relativen Anteils der mittleren Amplituden an der kumulativen Amplitude aller untersuchten Muskeln, getrennt für beide Körperseiten. Die intermuskuläre Koordination ist ein Maß dafür, welchen Anteil ein einzelner Muskel an der summierten Gesamtaktivität aller Muskeln zu einem bestimmten Zeitpunkt oder Zeitraum hat.

4.5.2 **Zeitabhängige Betrachtung**

Im Gegensatz zur zeitunabhängigen Betrachtung erfolgte eine dynamische, zeitabhängige Betrachtung. Hierzu zählt die Einatemphase jeder Übung, der der Anfang (erste neun Töne) und das Ende (letzte neun Töne) der Tonleiter und der gesamte Verlauf der jeweiligen Übung. Der betrachtete Parameter ist das relative übungsspezifische Maximum.

4.5.2.1 *Relatives übungsspezifisches Maximum*

Das übungsspezifische Aktivitätsmaximum beschreibt die maximale Amplitude im Verlauf einer Übung bzw. eines zu beobachteten Abschnitts.

Da bereits bei der zeitunabhängigen Betrachtung die jeweiligen Aktivitätsmaxima der einzelnen Muskeln berücksichtigt wurden, erfolgt für die zeitabhängigen Betrachtungen lediglich die Normierung auf das relative übungsspezifische Maximum. Aufgrund der inter- und intraindividuellen Unterschiede in der Dauer der Einatemphasen und den Übungslängen wurde bei allen zeitabhängigen Betrachtungen eine Zeitnormierung auf 100% mit 1%-iger Genauigkeit durchgeführt. Die geduldete zeitliche Abweichung betrug wegen der genannten interindividuellen Schwankungen 50%. Die Verlaufsdaten jeder Einzelübung wurden zunächst getrennt auf das vorkommende Maximum normiert, für die Auswertung wurde dann die aus den fünf Wiederholungen gemittelte Verlaufskurve verwendet. Um weiterhin der dennoch zu berücksichtigenden Restvariabilität der Daten Rechnung zu tragen, wurden die Daten von jeweils 10% der Gesamtdauer gemittelt.

Damit kann das Aktivitätsverhalten jedes einzelnen Muskels im Verlauf der jeweiligen Übung veranschaulicht werden. Die Daten werden auf zwei unterschiedliche Weisen dargestellt: einmal mit der beschriebenen individuellen Normierung jedes einzelnen Muskels, sowie als Gesamteinordnung der ermittelten Verlaufsdaten innerhalb aller betrachteten Muskeln. Mit der ersten Darstellung gelingt die Identifikation der einzelnen Amplitudenverläufe, während

die zweite Darstellung erlaubt, die Höhe der ermittelten Werte zwischen den Muskeln zu vergleichen und so besonders charakteristische Verläufe zu identifizieren.

Das übungsspezifische Maximum muss demnach nicht zwingend das jemals erreichte Maximum des jeweiligen Muskels des Probanden sein – Vergleiche zwischen Personen können somit nur die Aktivierungscharakteristik innerhalb der betrachteten Übung beurteilen.

4.5.3 Bänderdehnung

Eine Ausnahme von den beschriebenen Parametern bilden die Daten der dehnbaren Bänder: diese wurden jeweils zu Beginn der Untersuchung einzeln auf die ebenfalls willentlich erreichbaren minimalen bzw. maximalen Umfangswerte bei In- bzw. Expiration kalibriert. Sie liegen damit immer als prozentuale Dehnungswerte vor.

4.6 Statistik

Aufgrund der Tatsache, dass die gewonnen Daten keiner Normalverteilung unterliegen, sind für die statistischen Auswertungen nicht-parametrische Tests angewandt worden.

4.6.1 Zeitunabhängige Betrachtung

Die ermittelten zeitunabhängigen Daten für die fünf Bereiche des Vokalausgleichs, die drei Phasen des Dreiklangs und Schwelltons, sowie dem Endton der Tonleiter, wurden in verschiedenen Konstellationen für die einzelnen Gruppen statistisch verglichen.

Das Anstrengungsmaß und die intermuskuläre Koordination wurde hinsichtlich möglicher Unterschiede zwischen Bläserinnen und Bläsern statistisch miteinander verglichen.

Andererseits erfolgte für jede Übung der statistische Vergleich der Bläser mit den Sängern. Die Betrachtung erfolgte für beide Geschlechter getrennt voneinander, also „Sängerinnen und Flötistinnen“ und „Sänger und Bläser“.

Für alle beschriebenen Konstellationen wurde der nicht-parametrische U-Test von Mann und Whitney für zwei unverbundene Stichproben genutzt. Die Analyse erfolgte für beide Körperseiten und alle untersuchten Muskeln, für die jeweils beschriebenen Bereiche der oben genannten Übungen.

4.6.2 Zeitabhängige Betrachtung

In dieser Arbeit sind für einen Großteil der zeitabhängigen Daten nur die deskriptiven Analysen dargestellt, da bei statistischer Betrachtung der Zeitverlaufskurven kaum Unterschiede auf statistisch signifikantem Niveau zwischen den betrachteten Gruppen zu

ermitteln waren. Dies gilt für die Bandausdehnung und Einatemphase der Schwelltonübung, sowie die gesamten Übungen Vokalausgleich und Dreiklang.

Eine Ausnahme stellt die Übung Tonleiter dar. Hier erbrachte die statistische Analyse Unterschiede auf signifikantem Niveau, weshalb eine Darstellung der Ergebnisse unter 5.2.5.2 erfolgt. Zur besseren Übersichtlichkeit erfolgt die Aufteilung in Anfang (vom Grundton bis zur None) und Ende (von der None bis zum Grundton). Zum Vergleich der Männer (also Bläser und Sänger) und Frauen (also Flötistinnen und Sängerinnen) wurde ein T-Test genutzt. Da es sich bei den betrachteten Daten um Zeitverlaufskurven handelt und die statistische Betrachtung multiplen Tests entspricht, ist, zur Vermeidung einer Akkumulation falsch positiver p-Werte, ein stufenweises Korrekturverfahren nötig. Es erfolgte die Korrektur mittels family wise error rate (Benjamini und Hochberg 1995). Alle erreichten Signifikanzniveaus der 10 betrachteten Zeitpunkte wurden dafür aufsteigend sortiert. Der niedrigste Wert musste nun ein korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ durch die Anzahl der verbleibenden Tests erreichen. Damit verringert sich das initial zu erreichende Niveau auf $\alpha=0,005$. Die Prüfung des nächst höheren Test-Ergebnisses erfolgte nur, wenn dies erfüllt war. Dann wäre das nächste zu erreichende Niveau $\alpha = 0,05/9$, also 0,00556. Bei nicht-erfüllen wird die Testung für die gesamte Zeitverlaufskurve abgebrochen.

5 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse der Erstuntersuchung (zu Beginn des Musikstudiums) von den Bläsern vorgestellt und diese mit den Ergebnissen der Sänger (Jähkel 2014) verglichen. Aufgeführt sind die Bezugsgrößen Relativ zur Referenz und das Koordinationsmuster. Auf die Darstellung der mittleren Maximalwerte in μV wird verzichtet, da die Ergebnisse bei einer Gruppengröße von je 4 Probanden zu starke Streuungen aufweisen und somit als nicht vergleichbar anzusehen sind.

Bei den Diagrammen sind die Muskeln jeweils so dargestellt, dass sich der linke Muskel links in der Abbildung befindet und der rechte Muskel rechts. Zudem ist bei den einzelnen Balken (Median) jeweils das obere und untere Quartil dargestellt.

5.1 Zeitunabhängige Betrachtung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der 4 Übungen Vokalausgleich, Dreiklang, Tonleiter und Schwellton dargestellt. Der Vollständigkeit halber wurden einige Ergebnisse von Jähkel (2014), welche nicht in Ihrer Arbeit dargestellt wurden, hier noch einmal gesondert aufgeführt, um einen späteren Vergleich von Sängern und Bläsern gewährleisten zu können.

5.1.1 Vokalausgleich

5.1.1.1 Anstrengungsmaß

In Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 ist jeweils das Anstrengungsmaß für den Vokalausgleich zu sehen. Auf der Abszisse sind die einzelnen Muskeln abgebildet, die Amplitudenwerte in Prozent relativ zur Referenz auf der Ordinate.

Wie sich zeigt, haben fast alle Muskeln einen ansteigenden Verlauf von den Vokalen A zu U, dies gilt vor allem für die Bauchmuskulatur mit OI, OE und RA li. Lediglich SCM li, PM re, MF bds. und die oberflächige Rückenmuskulatur (EI, EL und LD) der Frauen, bzw. SCM, TD, PM, SA und LD bei den Männern, weisen von den Vokalen A zu U geringe Aktivitätszu- oder abnahmen auf. Bei den Frauen fällt zusätzlich auf, dass das Anstrengungsmaß höher ist, als bei den Männern, bzw. sogar über 100% hinaus geht. Am deutlichsten ist dies bei der Hals- und Nackenmuskulatur zu sehen (vgl. Vokal U bei TD rechts mit 184 % relativ zur Referenz). Die Männer hingegen haben ein geringeres Anstrengungsmaß, sie erreichen maximal 70% relativ zur Referenz. Die höchste Aktivität bei den Frauen zeigen neben der

Hals- und Nackenmuskulatur noch PM li, SA li, und MF bds. Bei den Männern sind dies PM li, MF bds. und QL li.

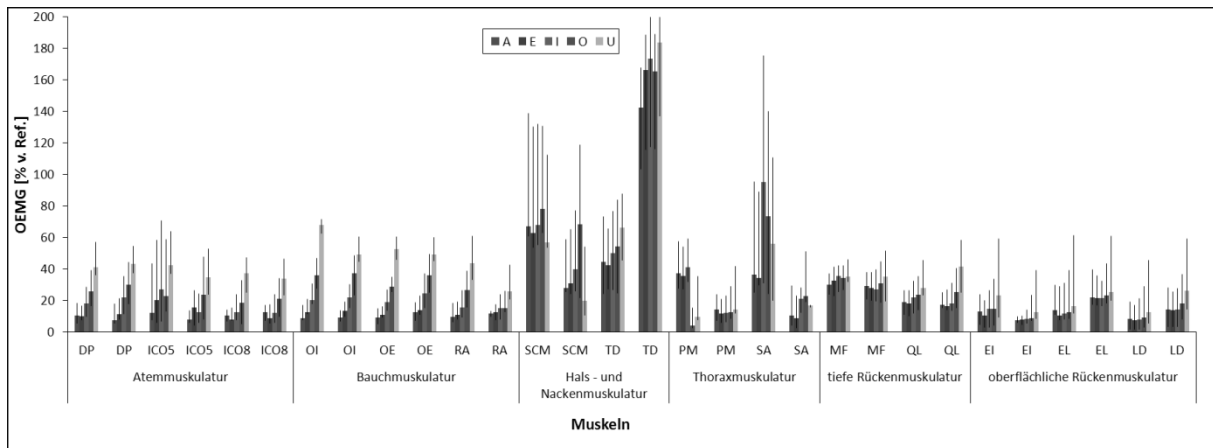


Abbildung 5.1 Vokalausgleich: Anstrengungsmaß (Relativ zur Referenz), Holzbläserinnen

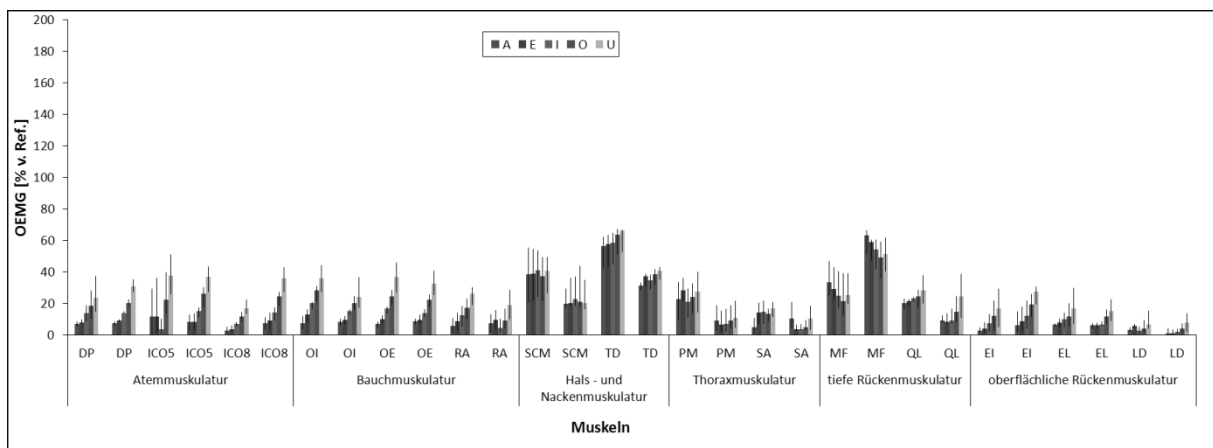


Abbildung 5.2 Vokalausgleich: Anstrengungsmaß (Relativ zur Referenz), Blechbläser

Bei den Sängerinnen zeigt sich ebenfalls bei fast allen Muskeln ein Anstieg der muskulären Aktivität im Laufe der Übung (Abbildung 5.3 von A nach U). Das höchste Anstrengungsmaß ist im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur (SCM und TD) zu finden, gefolgt vom DP, tiefer (MF) und oberflächlicher Rückenmuskulatur (EL). Auch bei den Sängern zeigt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 5.4). Nur das DP nimmt bei den Sängern im Vergleich zu den Sängerinnen eine untergeordnete Rolle ein. Auch hier sind die Muskeln mit dem höchsten Anstrengungsmaß TD, SCM und MF.

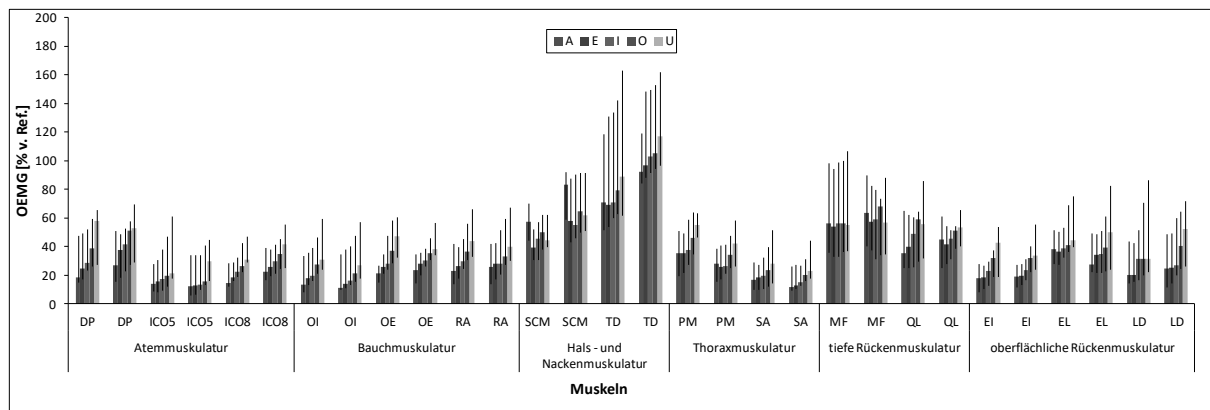


Abbildung 5.3 Vokalausgleich – Anstrengungsmaß (Relativ zur Referenz), Sängerinnen

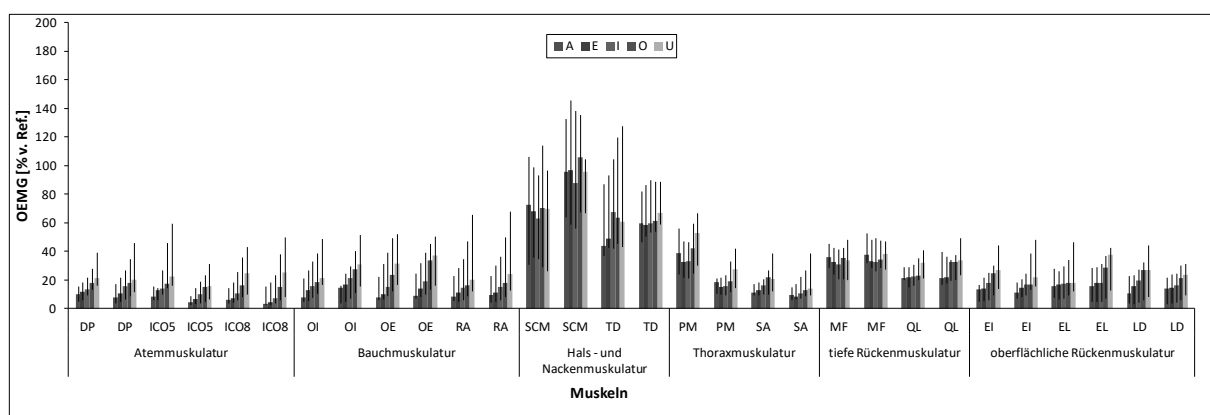


Abbildung 5.4 Vokalausgleich – Anstrengungsmaß (Relativ zur Referenz), Sänger

In der nachfolgenden Abbildung wird nun der direkte Vergleich zwischen den Geschlechtsgruppen während der Übung Vokalausgleich über alle Muskeln und beide Körperhälften hinweg dargestellt. Für jeden Vokal der Übung und jeden Muskel ist farblich markiert welche Gruppe das höhere Anstrengungsmaß erreicht (rosa – Frauen > Männer, blau – Männer > Frauen). Bei dunkel gefärbter Box ist dieser Unterschied im U-Test statistisch signifikant ($p < 0,05$).

Betrachtet man nun in Abbildung 5.5 den Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern so fällt zuerst auf, dass über alle Muskeln und Vokale betrachtet, die Frauen (hellrot) verhältnismäßig eine höheres Anstrengungsmaß besitzen als die Männer (hellblau). Allerdings sind die Unterschiede nur für die Muskeln SA li (Vokal E) und SCM li (Vokal O) signifikant ($p < 0,05$). Es fällt auch auf, dass wenn eine der beiden Gruppen ein höheres Anstrengungsmaß aufweist, diese dann fast über alle Vokale hinweg höher ist.

A	E	I	O	U	Vokalbereiche	A	E	I	O	U
		Links			Muskeln			Rechts		
					DP					
					ICOS					
					ICO8					
					OI					
					OE					
					RA					
					SCM					
					TD					
					PM					
					SA					
					MF					
					QL					
					EI					
					EL					
					LD					

Abbildung 5.5 Vokalausgleich: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben im Vergleich zu den Holzbläserinnen ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz). Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben im Vergleich zu den Blechbläsern ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz). Dunkel bedeutet signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.1.2 Intermuskuläre Koordination

Bei dem Vergleich der intermuskulären Koordination von Männern und Frauen, wird in Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7 deutlich, dass der OI bei beiden Geschlechtern den größten Anteil der Gesamtaktivität ausmacht, gefolgt von der Hals- und Nackenmuskulatur (SCM und TD). Bei den Frauen hebt sich noch ICO5 li und SA li hervor. Bei der oberflächigen Rückenmuskulatur hat nur der EL einen höheren Anteil bei den Frauen. Bei den Männern hingegen ist dies die tiefe Rückenmuskulatur mit MF und QL.

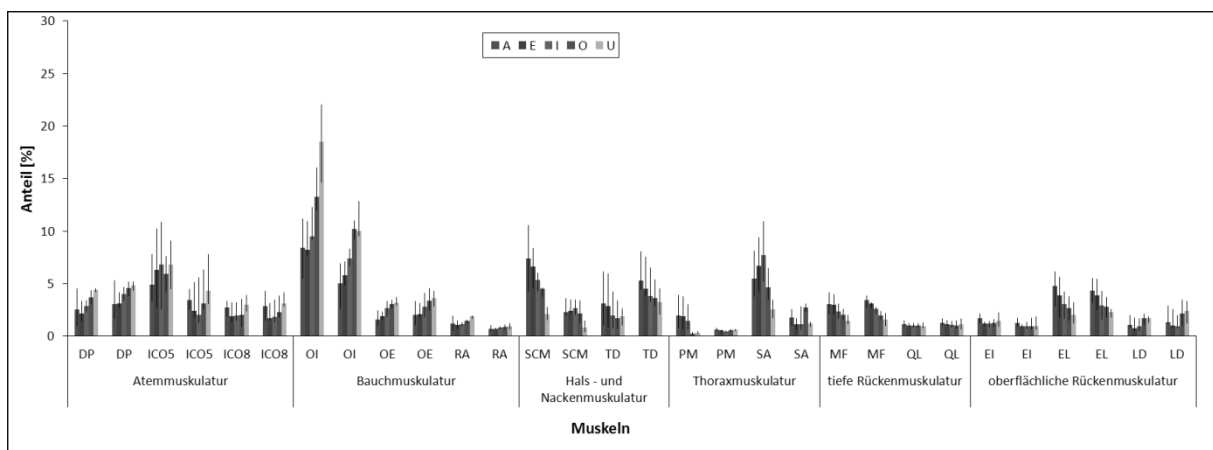


Abbildung 5.6 Vokalausgleich: Intermuskuläre Koordination, Holzbläserinnen (Querflöte)

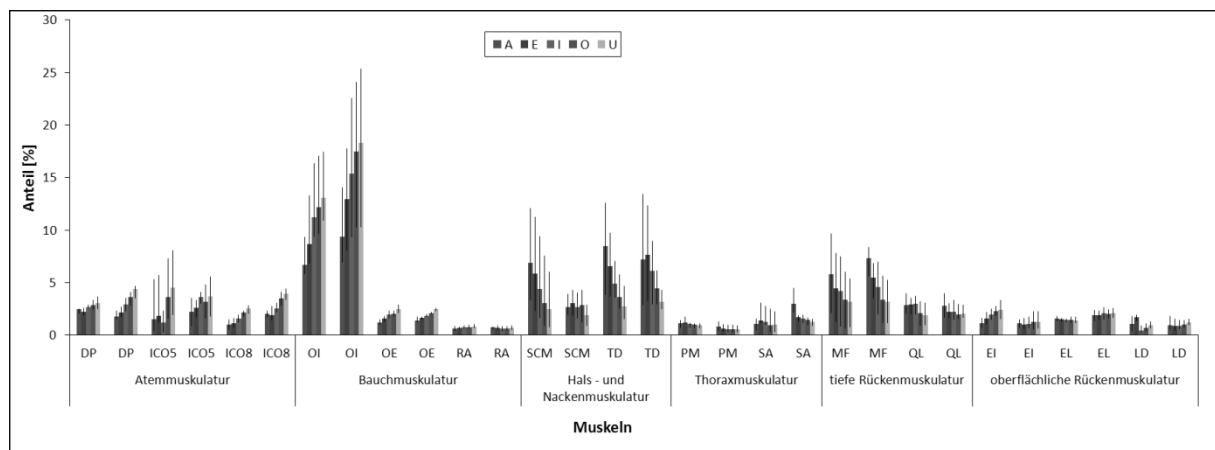


Abbildung 5.7 Vokalausgleich: Intermuskuläre Koordination, Blechbläser

Bei der Betrachtung der intermuskulären Koordination bei den Sängerinnen in Abbildung 5.8 zeigt sich der OI mit deutlichem Abstand zu den restlichen Muskeln als der Muskel mit dem höchsten Anteil. An zweiter Stelle folgt die Atemmuskulatur. Hals-, Nacken- und Rückenmuskulatur haben ein in etwa gleiches Niveau. Die Thoraxmuskulatur spielt eine untergeordnete Rolle. Bei den Sängern in Abbildung 5.9 hat wieder der OI den größten Anteil an der Aktivierung. Auch hier zeigt die Thoraxmuskulatur eine untergeordnete Rolle. Atem-, Hals-, Nacken- und Rückenmuskulatur sind ebenfalls wieder auf gleichem Niveau aktiv.

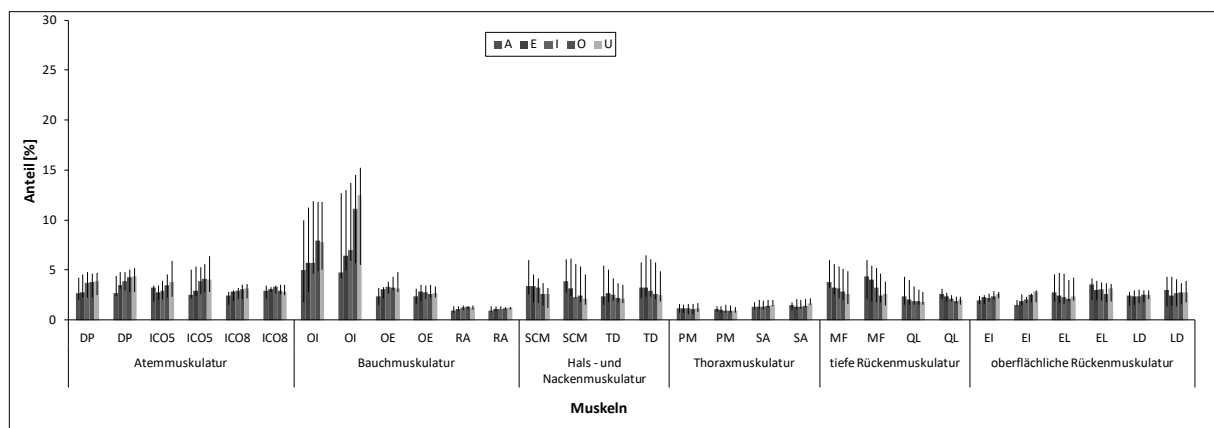


Abbildung 5.8 Vokalausgleich: Intermuskuläre Koordination, Sängerinnen

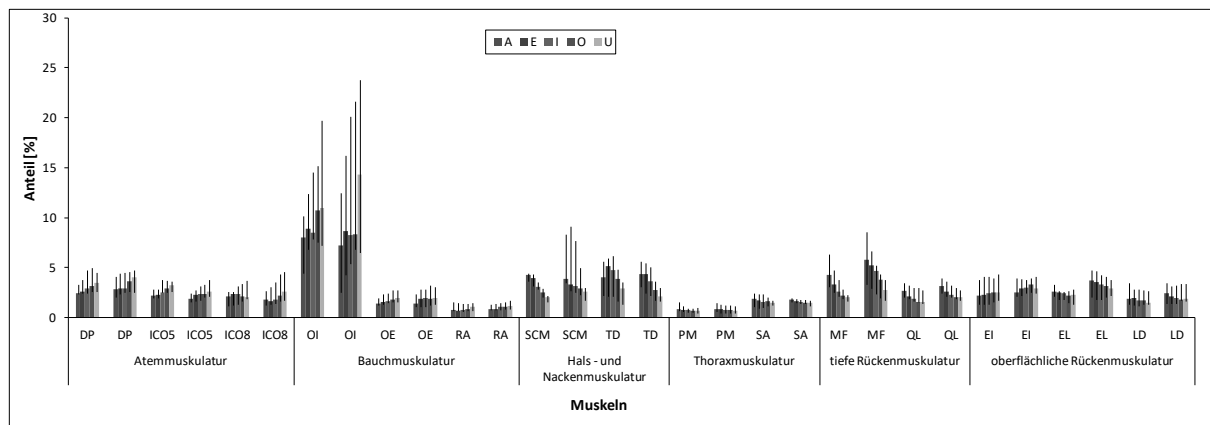


Abbildung 5.9 Vokalausgleich: Intermuskuläre Koordination, Sänger

Bei dem direkten Vergleich der Bläser, entsprechend Abbildung 5.5 in Abschnitt 5.1.1.1, erkennt man nun in Abbildung 5.10, dass die Männer vor allem auf der rechten Körperseite höhere Werte aufweisen als die Frauen. Auf der linken Seite ist es in etwa ausgeglichen. Signifikant sind nur die Muskeln QL li (Vokal A und E) bei den Männern.

A	E	I	O	U	Vokalbereiche	A	E	I	O	U
Links					Muskeln	Rechts				
					DP					
					IC05					
					IC08					
					OI					
					OE					
					RA					
					SCM					
					TD					
					PM					
					SA					
					MF					
					QL					
					EI					
					EL					
					LD					

Abbildung 5.10 Vokalausgleich: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.1.3 Vergleich von Sängern und Bläsern

Im folgenden Abschnitt werden nun die Sänger aus der Arbeit von Jähkel (2014) mit den Bläsern verglichen. In Abbildung 5.11 zeigt sich bei den weiblichen Probanden, dass die Sängerinnen in der überwiegenden Mehrzahl der Muskeln über die gesamte Übung hinweg jedoch mit Ausnahme des letzten Vokals ein höheres Anstrengungsmaß als die Flötistinnen besitzen. Dies wird vor allem in der Rückenmuskulatur (MF, QL, EI, EL und LD) deutlich,

wo alle Muskeln, bei allen Vokalen ein höheres Anstrengungsmaß als bei den Holzbläserinnen aufweisen. Lediglich die Hals- und Nackenmuskulatur (SCM li und TD re), als auch rechte Thoraxmuskulatur (PM und SA) weisen Unterschiede auf. Auch zu nennen sind die höheren Anstrengungsmaße der Holzbläserinnen bei dem letzten Vokal im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur (ICO5, ICO8, OI, OE und RA). Obwohl in manchen Abschnitten die Sängerinnen höhere Werte aufweisen, haben die Holzbläserinnen beim letzten Vokal mehrfach die höheren Werte, dies jedoch nicht auf statistisch signifikantem Niveau.

A	E	I	O	U	Vokalbereiche	A	E	I	O	U
		Links			Muskeln			Rechts		
					DP					
					ICO5					
					ICO8					
					OI					
					OE					
					RA					
					SCM					
					TD					
					PM					
					SA					
					MF					
					QL					
					EI					
					EL					
					LD					

Abbildung 5.11 Vokalausgleich: Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen (Querflöten). Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Holzbläserinnen haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sängerinnen. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sängerinnen haben eine höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz) als die Holzbläserinnen. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Bei dem Vergleich zwischen männlichen Bläsern und Sängern in Abbildung 5.12 zeigt sich, dass insgesamt betrachtet auch hier die Sänger das höhere Anstrengungsmaß besitzen. Vor allem der TD re weist über alle Vokale hinweg signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Die Bläser weisen unter anderem in der Atem- und Bauchmuskulatur vereinzelt nicht signifikant höhere Werte auf. Die Bläser haben nur in der Atemmuskulatur (DP, ICO5 und ICO8 re) und linken Bauchmuskulatur (OI und OE) höhere Werte.

A	E	I	O	U	Vokalbereiche	A	E	I	O	U
		Links			Muskeln			Rechts		
					DP					
					ICO5					
					ICO8					
					OI					
					OE					
					RA					
					SCM					
					TD					
					PM					
					SA					
					MF					
					QL					
					EI					
					EL					
					LD					

Abbildung 5.12 Vokalausgleich: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Blechbläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Bei Betrachtung der Unterschiede der intermuskulären Koordination von Sängerinnen und Bläserinnen in Abbildung 5.13 zeigt sich ein signifikanter Unterschied zugunsten der Sängerinnen, vor allem im Thorax- (PM und SA re.) und Rückenbereich (QL und EI). Desweiteren sind bei den Holzbläserinnen bei der Atem- und Bauchmuskulatur links, höhere Aktivierungen, jedoch auf nicht signifikantem Niveau, sichtbar.

A	E	I	O	U	Vokalbereiche	A	E	I	O	U
		Links			Muskeln			Rechts		
					DP					
					ICO5					
					ICO8					
					OI					
					OE					
					RA					
					SCM					
					TD					
					PM					
					SA					
					MF					
					QL					
					EI					
					EL					
					LD					

Abbildung 5.13 Vokalausgleich: Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Holzbläserinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sängerinnen. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sängerinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination) als die Holzbläserinnen. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Bei den männlichen Probanden in Abbildung 5.14 ist der relative Anteil der Atemmuskulatur rechts (ICO5 und ICO8) auf Seiten der Blechbläser höher. Auf der linken Körperseite ist dies ausgeglichen, bzw. bei den Vokalen O und U ebenso auf Seiten der Blechbläser höher. Im Bereich der oberflächlichen Rückenmuskulatur weisen die Sänger über die ganze Übung hinweg, teilweise auf statistisch signifikantem Niveau, die höhere Aktivierung auf. (EI re. Vokal A und E, EL li. Vokal A und LD li. Vokal I).

A	E	I	O	U	Vokalbereiche	A	E	I	O	U
		Links			Muskeln			Rechts		
					DP					
					ICO5					
					ICO8					
					OI					
					OE					
					RA					
					SCM					
					TD					
					PM					
					SA					
					MF					
					QL					
					EI					
					EL					
					LD					

Abbildung 5.14 Vokalausgleich: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Blechbläser haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.2 Dreiklang

5.1.2.1 Anstrengungsmaß

Bei der Betrachtung des Anstrengungsmaßes während der Übung Dreiklang, dargestellt in Abbildung 5.15 und Abbildung 5.16 fällt zunächst bei den Flötistinnen auf, dass sie mit dem TD re, ähnlich wie bei der Übung Vokalausgleich, mit ihrem Maximalwert deutlich über die vorher ermittelte Referenz hinaus gehen (160 %). Auch ist bei den Flötistinnen ersichtlich, dass Teile der Atemmuskulatur (DP), die gesamte Bauchmuskulatur, sowie der SA re, EI li und LD einen ansteigenden Verlauf von dem Grundton über die Terz hin zur Quinte aufweisen. Andere Muskeln bleiben auf ihrem Ausgangsniveau, bzw. verändern sich nur leicht. Als Ausnahme ist wieder der SCM zu nennen, welcher sein höchstes Anstrengungsmaß während des Grundtons hat und zum Ende der Übung an Aktivität abnimmt.

Bei den Männern hingegen geht das Anstrengungsmaß nicht über 76 % der Referenz (Quinte, TD li). Auch hier weist der TD die höchste Aktivität auf. Ein ansteigendes Muster zeigen bei den Männern fast alle Muskeln: DP, ICO5 re, ICO8, die gesamte Bauchmuskulatur, TD, PM li, SA li, QL und die gesamte oberflächige Rückenmuskulatur. Der SCM bildet zusammen mit dem linken ICO5 die Ausnahme, wo im Grundton das höchste Anstrengungsmaß vorliegt und diese im Verlauf abnimmt.

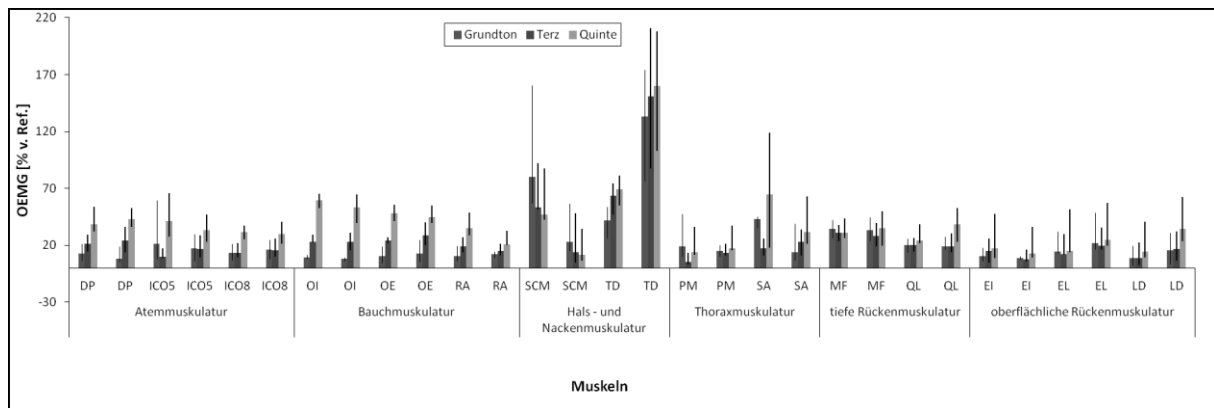


Abbildung 5.15 Dreiklang: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Holzbläserinnen (Querflöte)

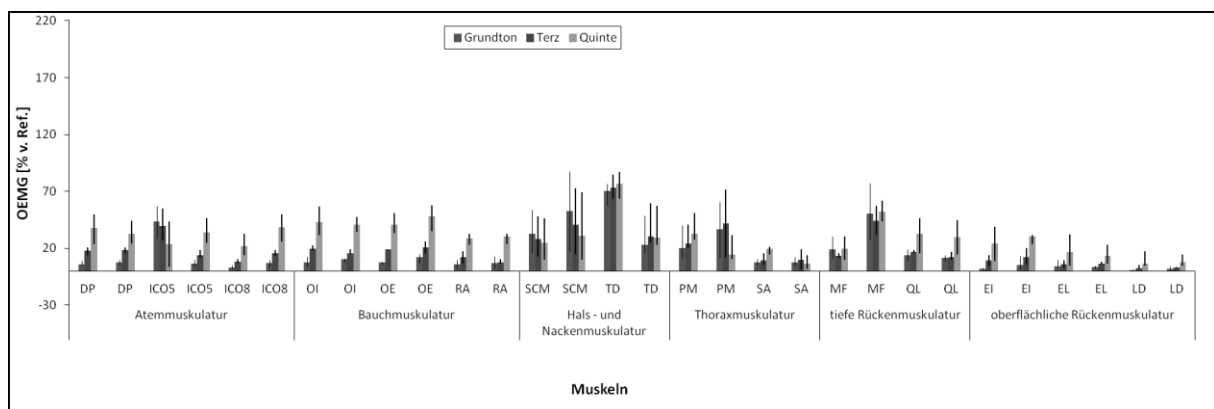


Abbildung 5.16 Dreiklang: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Blechbläser

In Abbildung 5.17 sieht man bei den Sängerinnen über alle Muskeln eine ansteigende muskuläre Aktivität vom Grundton bis zur Quinte. Das größte Anstrengungsmaß findet sich hierbei im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur, gefolgt von der Rück- und Atemmuskulatur. Bei den Sängern in Abbildung 5.18 ist ein ähnliches Muster zu sehen. Auch hier ist wieder der Anstieg der Aktivität vom Grundton bis zur Quinte zu beobachten. Das höchste Anstrengungsmaß ist auch hier im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur zu beobachten.

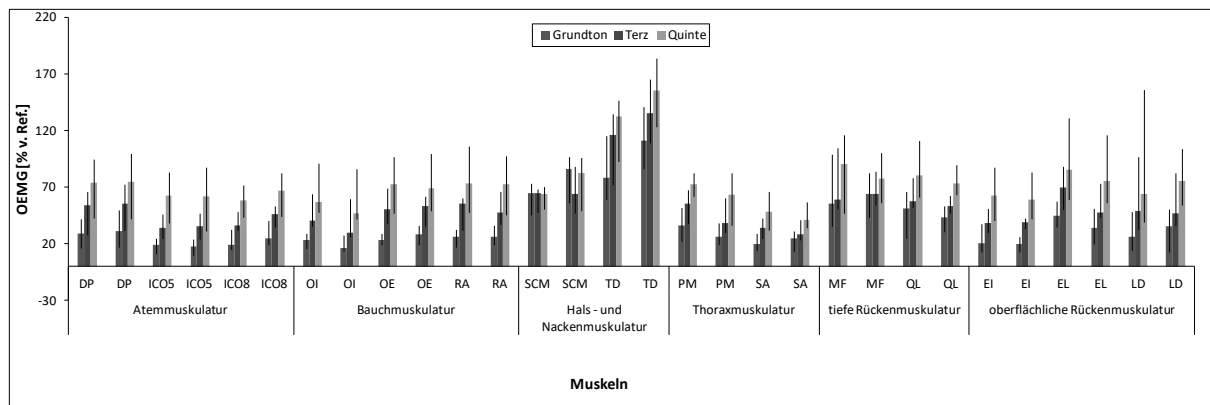


Abbildung 5.17 Dreiklang: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Sängerinnen

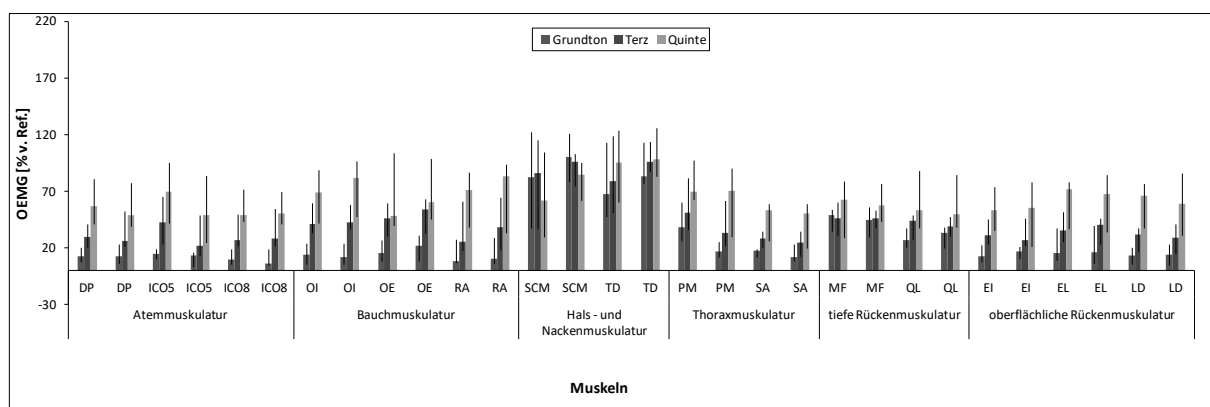


Abbildung 5.18 Dreiklang: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Sänger

In Abbildung 5.19 ist der Vergleich von weiblichen und männlichen Bläser dargestellt. Hier zeigt sich eine Verteilung der Maximalwerte zugunsten der weiblichen Probanden. Lediglich bei drei Muskeln sind zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Übung signifikant höhere Werte bei den Frauen festzustellen. Die Muskeln DP, SA und LD weisen bei den Frauen beidseits über die gesamte Übung hinweg ein höheres Anstrengungsmaß auf.

Grundton	Terz	Quinte	Intervall	Grundton	Terz	Quinte
	Links		Muskeln		Rechts	
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.19 Dreiklang: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.2.2 Intermuskuläre Koordination

Abbildung 5.20 und Abbildung 5.21 zeigt das Muster für die intermuskuläre Koordination der weiblichen und männlichen Bläser. Wie bereits beim Vokalausgleich, hat der OI bei beiden Geschlechtern den größten relativen Anteil. Bei den Frauen folgt der SCM li, EL und die Atemmuskulatur, während bei den Männern die komplette Hals- und Nackenmuskulatur an zweiter Stelle folgt. Bei beiden Gruppen lassen sich sowohl aufsteigende, als auch absteigende Muster wiedererkennen. So ist dies bei den Frauen die Bauchmuskulatur, welche im Laufe der Übung ihren Anteil an der Gesamtarbeit steigert und bei den Männern zusätzlich noch die Atemmuskulatur (bis auf ICO5 li). Außerdem ist hervorzuheben, dass bei den Männern die komplette Hals- und Nackenmuskulatur (SCM und TD) den maximalen Anteil an der Gesamtarbeit bereits beim Grundton hat und dieser bis zum Ende der Übung kleiner wird. Bei den Frauen ist dies nur bei SCM, MF und EL zu sehen.

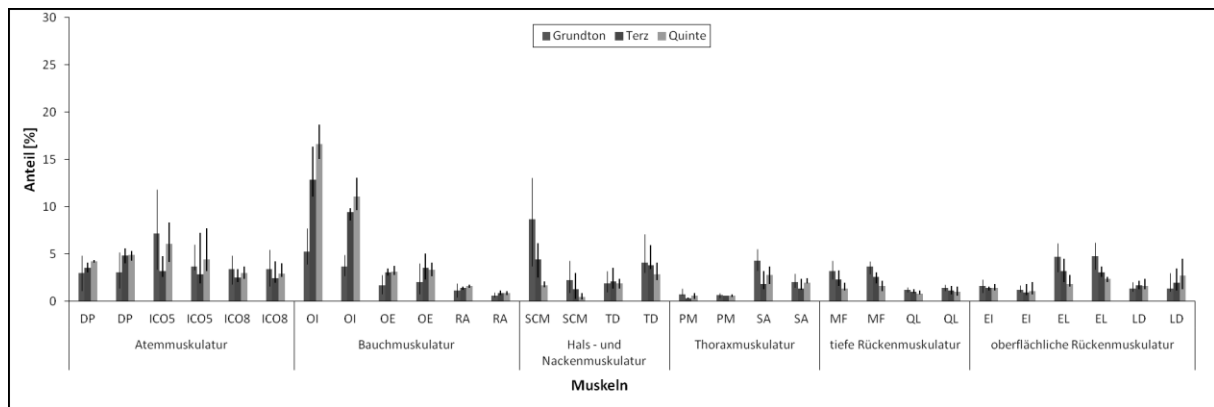


Abbildung 5.20 Dreiklang: Intermuskuläre Koordination, Holzbläserinnen (Querflöte)

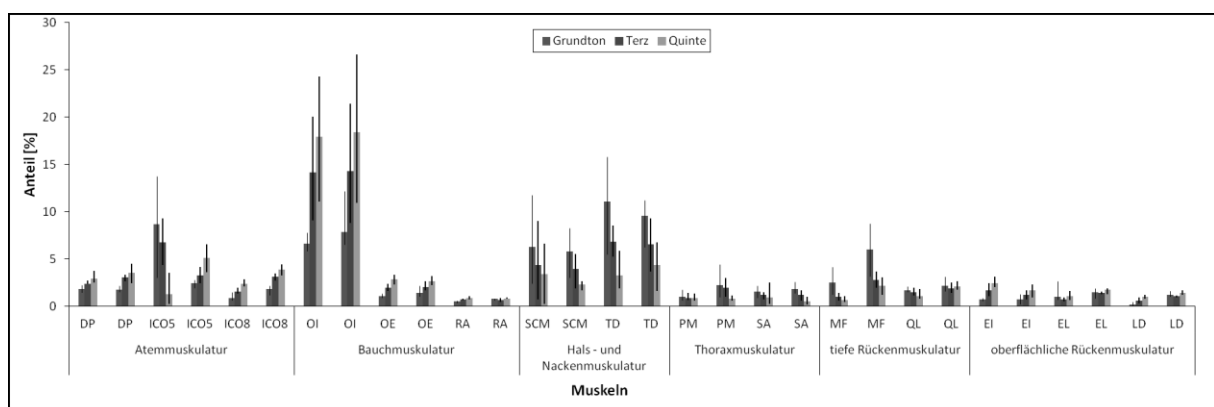


Abbildung 5.21 Dreiklang: Intermuskuläre Koordination, Blechbläser

In Abbildung 5.22 und Abbildung 5.23 zeigt sich bei den Bläsern ebenfalls der höchste Anteil an der Gesamtaktivität beim OI. Die restliche Muskulatur zeigt niedrigere Werte auf gleichem Niveau während der gesamten Übung. Nur die Thoraxmuskulatur zusammen mit RA spielt eine untergeordnete Rolle. Auch fällt auf, dass bei beiden Geschlechtern die Atem- und Bauchmuskulatur einen ansteigenden Anteil an der Gesamtaktivierung vom Grundton bis zur Quinte hat. Bei der Hals-, Nacken- und tiefen Rückenmuskulatur ist hingegen eine abfallende Tendenz über die Übung hinweg zu beobachten.

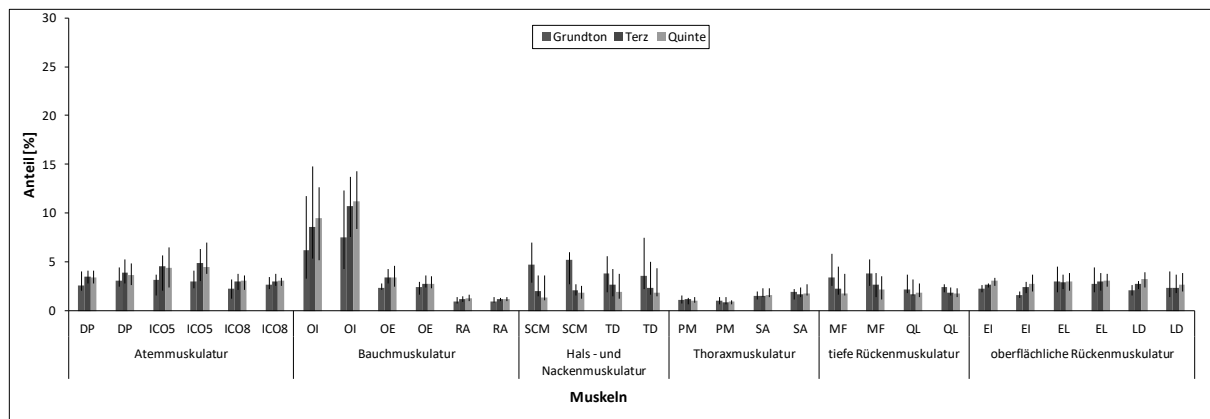


Abbildung 5.22 Dreiklang: Intermuskuläre Koordination, Sängerinnen

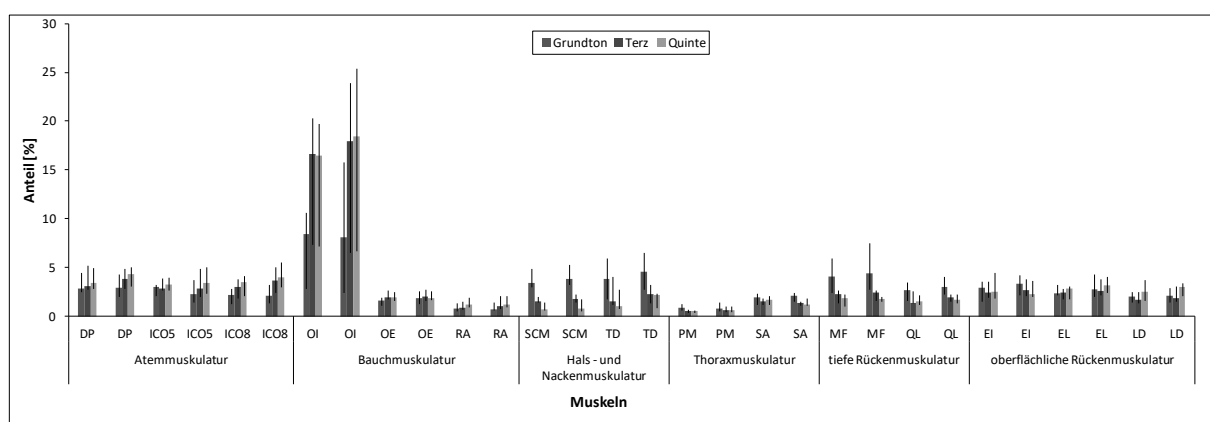


Abbildung 5.23 Dreiklang: Intermuskuläre Koordination, Sänger

Beim Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern in Abbildung 5.24 fällt auf, dass die Frauen sowohl höhere Anteile in der oberflächlichen Rückenmuskulatur (EL und LD), als auch DP, OE und SA beidseits besitzen. Die Männer hingegen weisen die höheren Anteile im OI, TD, PM und QL beidseits auf. Insgesamt sind keine einheitlichen Tendenzen auf statistisch signifikantem Niveau nachweisbar.

Grundton	Terz	Quinte	Intervall	Grundton	Terz	Quinte
	Links		Muskeln		Rechts	
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.24 Dreiklang: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.2.3 Vergleich von Sängern und Bläsern

Beim Vergleich von Sängern und Bläsern in Abbildung 5.25 und Abbildung 5.26 zeigt sich, bis auf wenige Ausnahmen, ein höheres Anstrengungsmaß auf Seiten der Sänger und Sängerinnen. Zudem sind bei den Frauen vor allem während der Terz signifikant höhere Aktivierungen beidseits und über alle Muskelgruppen hinweg zu sehen. Bei den männlichen Sängern erreicht die Hals- und Nackenmuskulatur zwar höhere Werte, jedoch auf nicht signifikantem Niveau.

Grundton	Terz	Quinte	Intervall	Grundton	Terz	Quinte
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.25 Vergleich von Sängerinnen und Flötistinnen. Links die Frauen und rechts die Männer. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Flötistinnen haben eine höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sängerinnen. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sängerinnen haben eine höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Flötistinnen. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Grundton	Terz	Quinte	Intervall	Grundton	Terz	Quinte
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.26 Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Blechbläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Beim Vergleich des Koordinationsmusters zwischen den weiblichen und männlichen Probanden (Abbildung 5.27 und Abbildung 5.28) zeigt sich eine heterogene Verteilung der Ergebnisse. Hier sind weniger signifikante Unterschiede, als beim Vergleich der relativen Aktivierungen zu sehen. Lediglich die oberflächliche Rückenmuskulatur (EI, EL und LD) zeigt bei den männlichen Sängern höhere Werte, als bei den Bläsern und dies auch vermehrt auf statistisch signifikantem Niveau. Bei den männlichen Bläsern weist die Hals- und Nackenmuskulatur (SCM und TD) und der PM einen höheren Anteil an der Gesamtaktivierung auf. Die jeweils festgestellten Unterschiede zwischen männlichen Sängern und Bläsern sind kaum auf die Frauen zu übertragen. Hier zeigt sich ein uneinheitliches Bild ohne feststellbare Tendenzen.

Grundton	Terz	Quinte	Intervall	Grundton	Terz	Quinte
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.27 Dreiklang: Vergleich von Sängerinnen und Flötistinnen. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Flötistinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sängerinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit als die Flötistinnen. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Grundton	Terz	Quinte	Intervall	Grundton	Terz	Quinte
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.28. Dreiklang: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Blechbläser haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.3 Tonleiter

5.1.3.1 Anstrengungsmaß

Für die Übung Tonleiter wurde für die zeitunabhängige Betrachtung der Endton ausgewählt. Die Ergebnisse für die gesamte Übung finden sich in Abschnitt 5.2.5. Entsprechend werden für den Endton keine Übungsverläufe dargestellt.

Bei der Muskelaktivität bezogen auf das Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz) während des Endtons (Abbildung 5.29 und Abbildung 5.30), erreichen die Frauen für den rechten TD erneut höhere Werte, auch weit über der Referenz (160%). Bis auf die Hals- und Nackenmuskulatur liegen keine Muskeln oberhalb von 30% des muskelspezifischen Anstrengungsmaßes. Das obere und untere Quartil im Hals- und Nackenbereich weist darauf hin, dass eine große Streuung innerhalb der Gruppe vorliegt.

Bei den Männern liegt die maximale Aktivität sowohl beim PM re, als auch im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur. Die restlichen Muskeln weisen ein geringeres Anstrengungsmaß auf. Auffällig ist weiterhin, dass das individuelle Anstrengungsmaß bei den Bläsern über alle Muskel gesehen geringer ausfällt, als bei den weiblichen Holzbläsern.

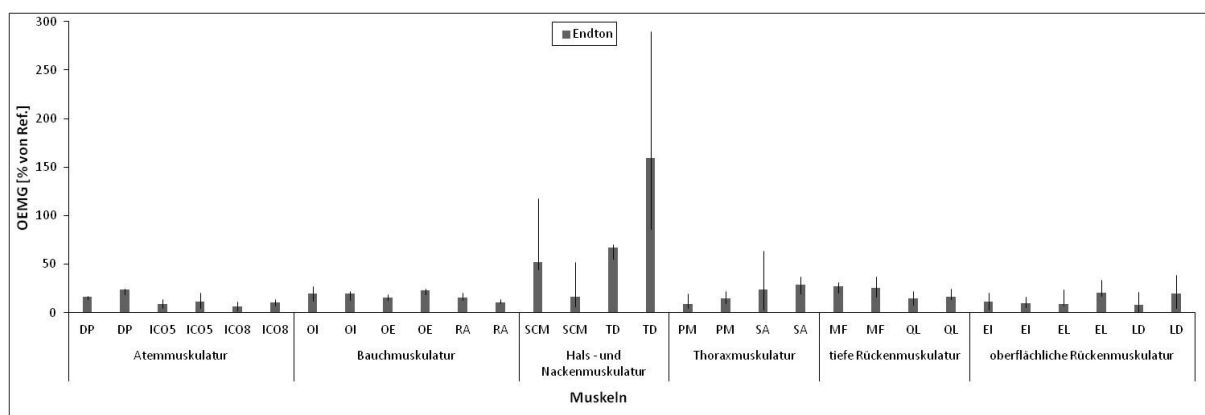


Abbildung 5.29 Tonleiter, Endton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Holzbläserinnen (Querflöte)

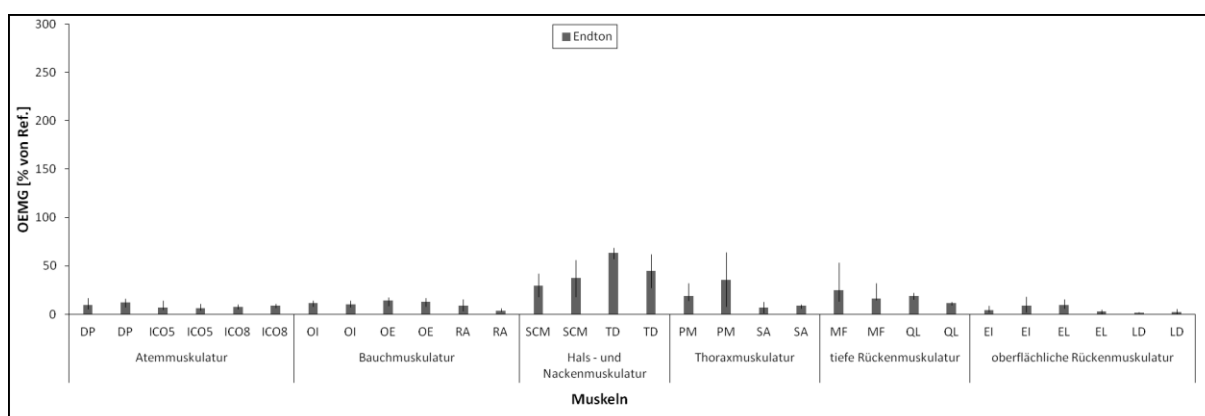


Abbildung 5.30 Tonleiter, Endton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Blechbläser

Bei den Sängerinnen, dargestellt in Abbildung 5.31, ist das höchste Anstrengungsmaß wieder im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur zu sehen (TD am stärksten). Auch hier wurden Werte über 100% der Referenz erreicht. Die restliche Muskulatur befindet sich auf einem ähnlich hohen Niveau.

Bei den Sängern in Abbildung 5.32 hat auch die Hals- und Nackenmuskulatur das höchste Anstrengungsmaß. Allerdings gehen diese Werte im Vergleich zu den Sängerinnen kaum über 100% der Referenzmessung. Auch hier ist die Aktivierung der restlichen Muskulatur auf einem ähnlichen Niveau.

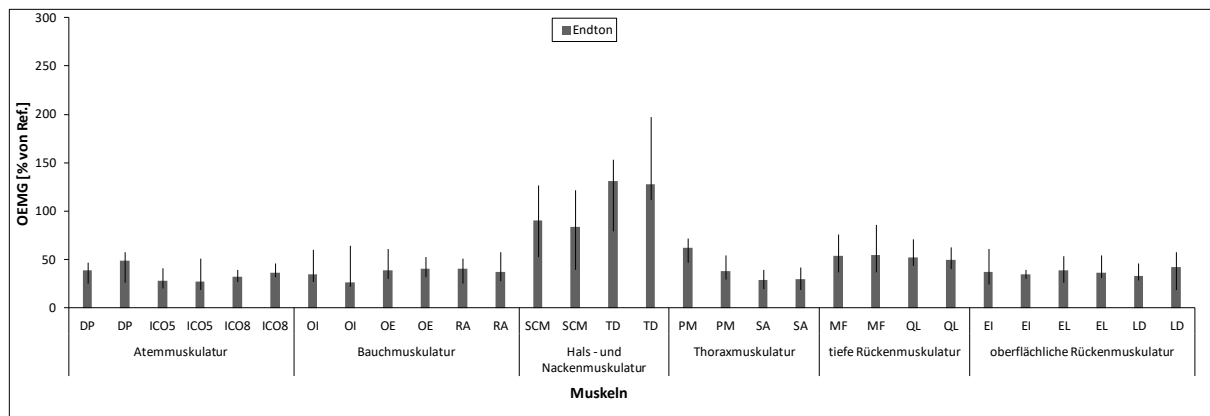


Abbildung 5.31 Tonleiter, Endton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Sängerinnen

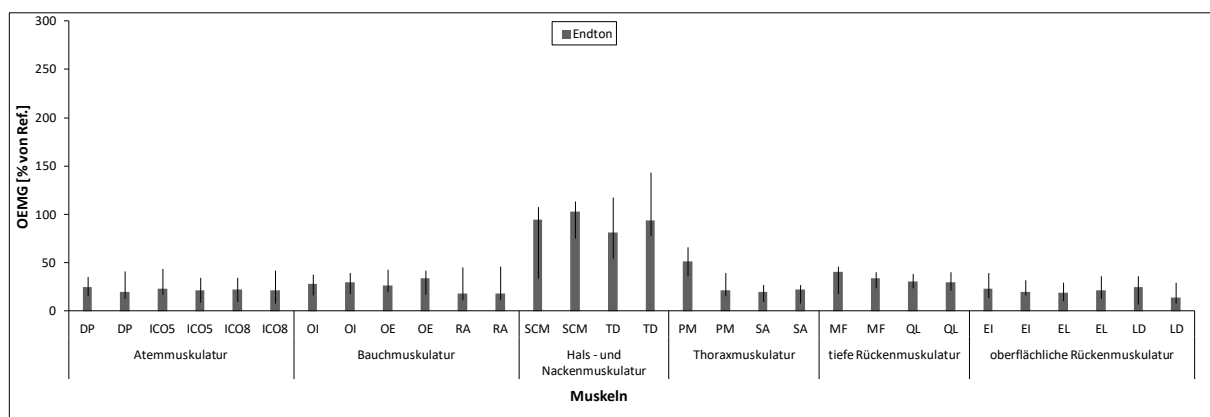


Abbildung 5.32 Tonleiter, Endton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Sänger

Bei der Betrachtung von Abbildung 5.33 fällt zunächst auf, dass die Frauen über die Mehrzahl der beobachteten Muskeln das höhere Anstrengungsmaß besitzen, als die Männer. Lediglich der PM beidseits, sowie ICO8 li, SCM re, QL li und EL li weisen bei den Männern höhere Werte auf. Alle hier festgestellten Unterschiede sind auf nicht-signifikantem Niveau.

Endton	Bereich	Endton
Links	Muskeln	Rechts
	DP	
	ICO5	
	ICO8	
	OI	
	OE	
	RA	
	SCM	
	TD	
	PM	
	SA	
	MF	
	QL	
	EI	
	EL	
	LD	

Abbildung 5.33 Tonleiter, Endton: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.3.2 Intermuskuläre Koordination

Beim Anblick der intermuskulären Koordination bei weiblichen und männlichen Bläsern (Abbildung 5.34 und Abbildung 5.35) fällt zuerst auf, dass ähnlich wie beim Vokalausgleich und Dreiklang das Maximum beim OI liegt. Bei den Frauen folgen TD, SA und SCM, bei den Männern nur SCM und TD. Die restlichen Muskeln haben bei beiden Geschlechtern eine ausgeglichene Verteilung.

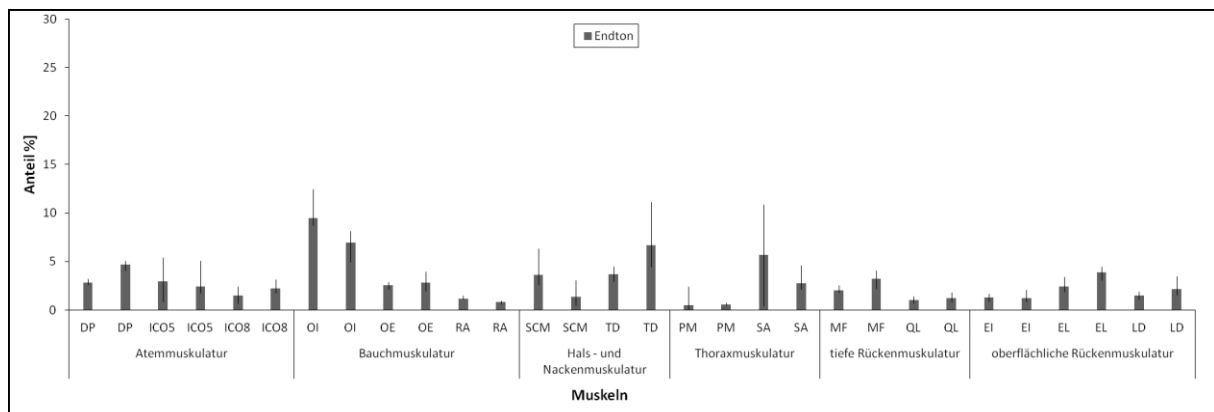


Abbildung 5.34 Tonleiter, Endton: Intermuskuläre Koordination, Holzbläserinnen (Querflöte)

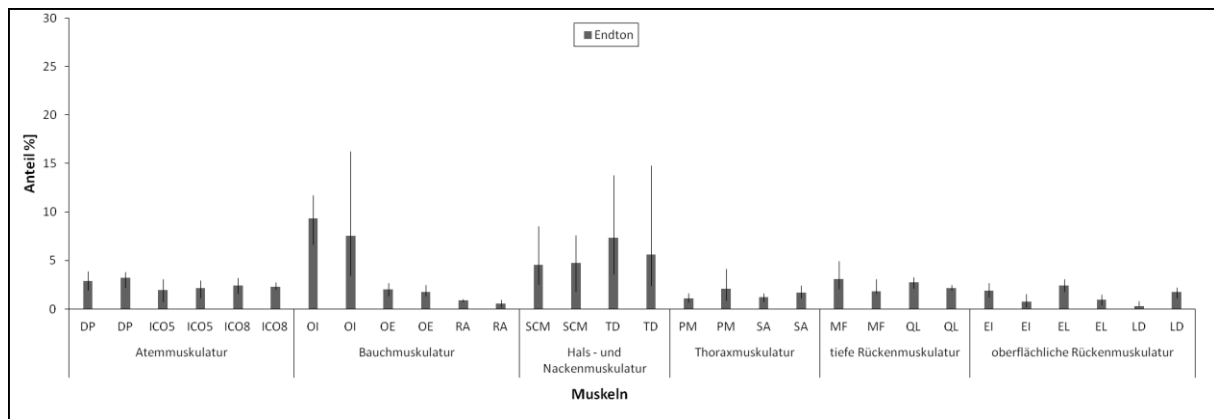


Abbildung 5.35 Tonleiter, Endton: Intermuskuläre Koordination, Blechbläser

Ähnlich wie bei den Übungen zuvor zeigt sich bei den Sängerinnen und Sängern in Abbildung 5.36 und Abbildung 5.37 der größte Anteil an der Gesamtaktivität beim OI. Einen ähnlich hohen Anteil im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur wie bei den Blech- und Holzbläserinnen, findet sich bei den Sängerinnen und Sängern nicht. Zwar sind diese Anteile im Vergleich zur restlichen Muskulatur leicht erhöht, aber dies ist nicht so deutlich zu sehen, wie bei den Holz- und Blechbläsern.

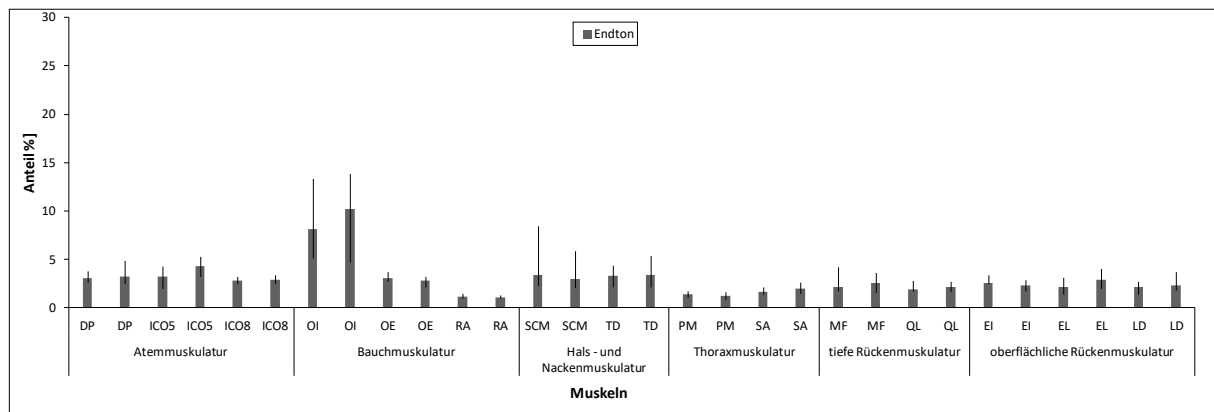


Abbildung 5.36 Tonleiter, Endton: Intermuskuläre Koordination, Sängerinnen

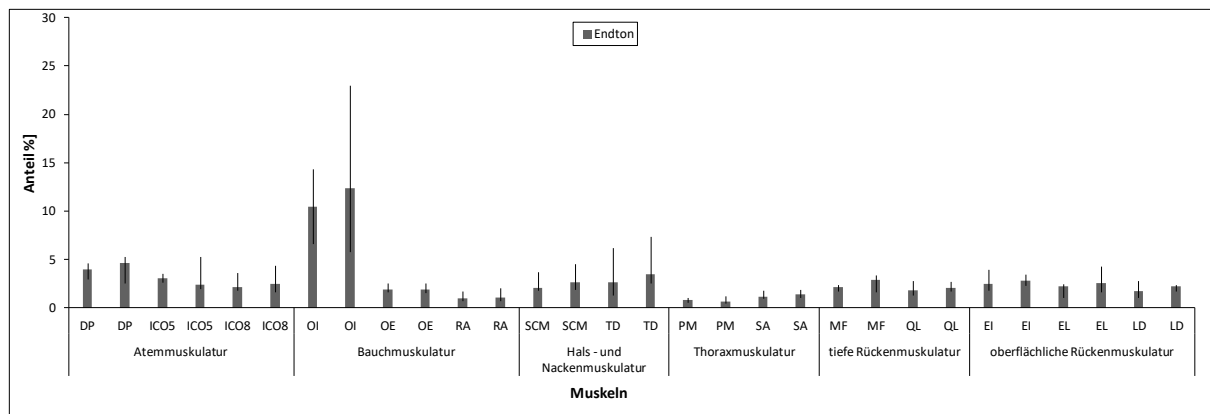


Abbildung 5.37 Tonleiter, Endton: Intermuskuläre Koordination, Sänger

In

Abbildung 5.38 zeigt sich im U-Test, dass die Holzbläserinnen im Bereich der Bauchmuskulatur (OI li, OE und RA) und der oberflächlichen Rückenmuskulatur (EI re, EL und LD) einen höheren Anteil als die Blechbläser haben. Diese hingegen haben beidseits nur im ICO8, SCM, PM und QL erhöhte Werte. Signifikanzen liegen bei beiden Gruppen nicht vor.

Endton	Bereich	Endton
Links	Muskeln	Rechts
	DP	
	ICO5	
	ICO8	
	OI	
	OE	
	RA	
	SCM	
	TD	
	PM	
	SA	
	MF	
	QL	
	EI	
	EL	
	LD	

Abbildung 5.38 Tonleiter, Endton: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.3.3 Vergleich von Sängern und Bläsern

Bei der Betrachtung von Abbildung 5.39 zeigt sich wie beim Vokalausgleich und Dreiklang, dass das höhere Anstrengungsmaß auf Seiten der Sänger, bzw. Sängerinnen liegt. Bei den Frauen zeigen sich zudem vermehrt signifikante Unterschiede. Diese sind in allen Muskelgruppen vertreten. Lediglich der Schulter- und Nackenbereich (SCM und TD) bei den Frauen weist keine Signifikanzen auf. Bei den weiblichen und männlichen Bläsern finden sich kaum erhöhte Werte (nur TD re. bei den Frauen und PM re. bei den Männern). Signifikante Ergebnisse auf Seiten der Bläser fehlen ganz.

Endton	Bereich	Endton	Endton	Bereich	Endton
Links	Muskeln	Rechts	Links	Muskeln	Rechts
	DP			DP	
	ICO5			ICO5	
	ICO8			ICO8	
	OI			OI	
	OE			OE	
	RA			RA	
	SCM			SCM	
	TD			TD	
	PM			PM	
	SA			SA	
	MF			MF	
	QL			QL	
	EI			EI	
	EL			EL	
	LD			LD	

Abbildung 5.39 Tonleiter, Endton: Vergleich von Sängern und Bläsern. Links die Frauen und rechts die Männer. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Bläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Bläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Beim Koordinationsmuster ist die Verteilung der Ergebnissein etwa gleich verteilt. In Abbildung 5.40 zeigen sich insgesamt wenig Signifikanzen. Einen relativ höheren Anteil an der Gesamtaktivität übernimmt die oberflächliche Rückenmuskulatur bei den Sängern.

Endton	Bereich	Endton		Endton	Bereich	Endton
Links	Muskeln	Rechts		Links	Muskeln	Rechts
	DP				DP	
	ICO5				ICO5	
	ICO8				ICO8	
	OI				OI	
	OE				OE	
	RA				RA	
	SCM				SCM	
	TD				TD	
	PM				PM	
	SA				SA	
	MF				MF	
	QL				QL	
	EI				EI	
	EL				EL	
	LD				LD	

Abbildung 5.40 Tonleiter, Endton: Vergleich von Sängern und Bläsern. Links die Frauen und rechts die Männer. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Bläser haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit als die Bläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.4 Schwellton

5.1.4.1 Anstrengungsmaß

Bei der letzten Übung, dem Schwellton, fällt in Abbildung 5.41 und Abbildung 5.42 auf, dass nahezu alle Muskeln einen ansteigenden Verlauf vom Anfang der Übung bis zum Ende haben. Lediglich die Hals- und Nackenmuskulatur bei beiden Geschlechtern und die Thoraxmuskulatur und MF bei den Frauen weisen dieses Muster nicht auf. Der TD rechts bei den Frauen weist, wie bereits bei den vorherigen Übungen, Werte über 100% auf: in der Mitte des Schwelltones sogar mehr als 200%. Bei den Männern hingegen ist die Hals- und Nackenmuskulatur zwar ebenfalls stark aktiviert, hebt sich aber nicht so deutlich von den restlichen Muskeln ab, wie bei den Frauen. Bei den Männern weist der SCM seine Maximalaktivierung zum Zeitpunkt des Lautstärkemaximums auf und weicht damit als einziger Muskel vom generellen Aktivierungsanstieg über die Übung hinweg ab.

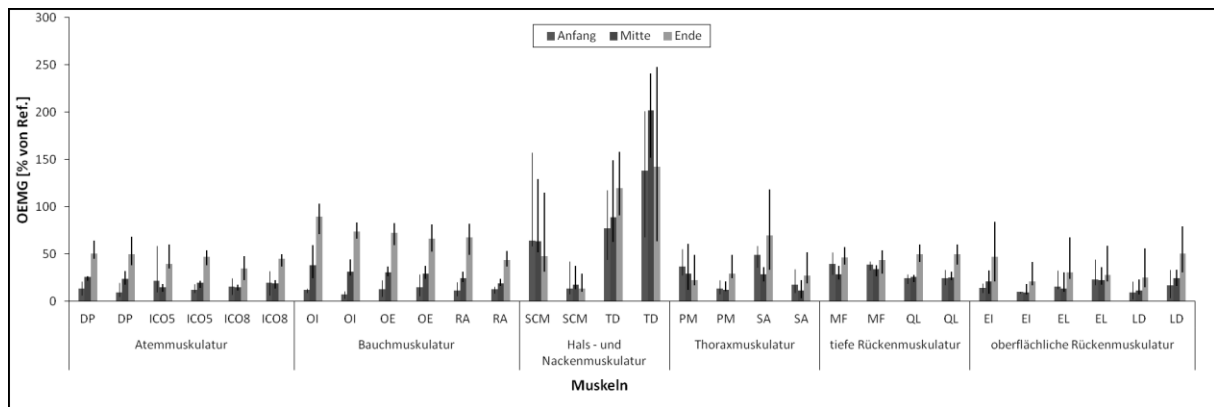


Abbildung 5.41 Schwellton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Holzbläserinnen (Querflöte)

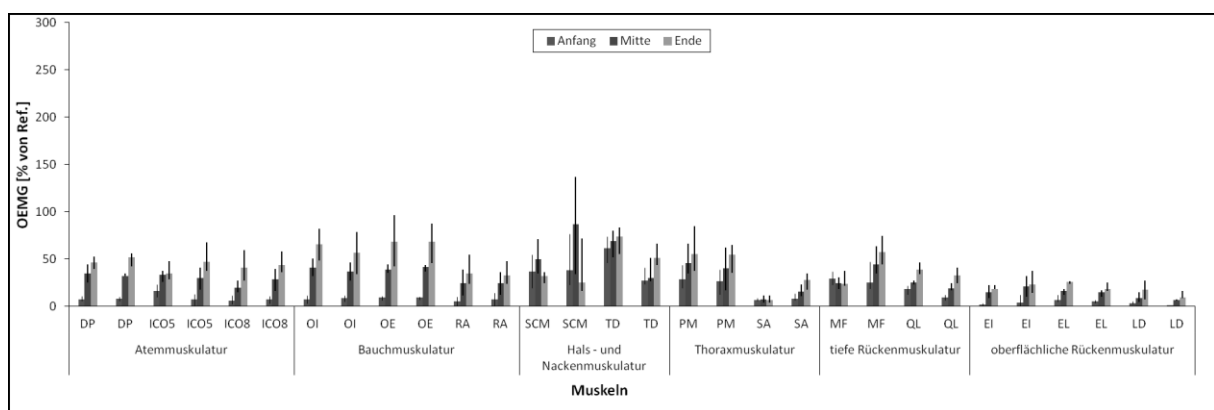


Abbildung 5.42 Schwellton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Blechbläser

Auch bei der letzten Übung, dem Schwellton, zeigt sich bei den Sängerinnen in Abbildung 5.43 wieder über alle Muskeln eine ansteigende Aktivität im Verlauf der Übung (Anfang bis Ende). Eine Ausnahme bildet der SCM, der zum Lautstärkemaximum seine höchste Aktivität aufweist. Die höchste Aktivität ist wieder im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur zu finden. Hier kommt der TD auch wieder über die 100% der Referenzmessung. In Abbildung 5.44 zeigt sich bei den Sängern ebenfalls über fast alle Muskeln eine ansteigende Aktivität im Verlauf der Übung. Im Vergleich zu den Sängerinnen kommt der TD kaum über die 100% der Referenzmessung. Die restliche Muskulatur befindet sich auf einem in etwa gleich niedrigem Niveau (<50% zur Referenz). Die Charakteristik des SCM ist gleich der der Sängerinnen.

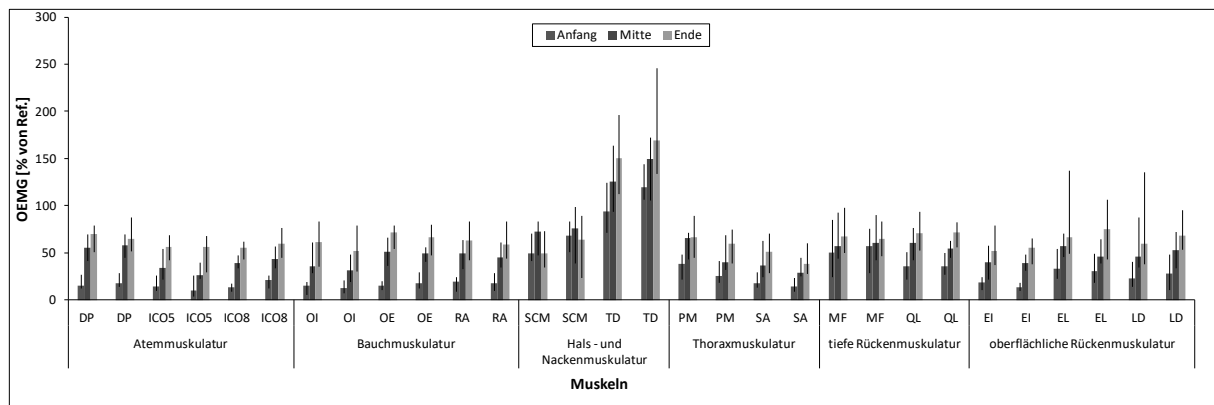


Abbildung 5.43 Schwellton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Sängerinnen

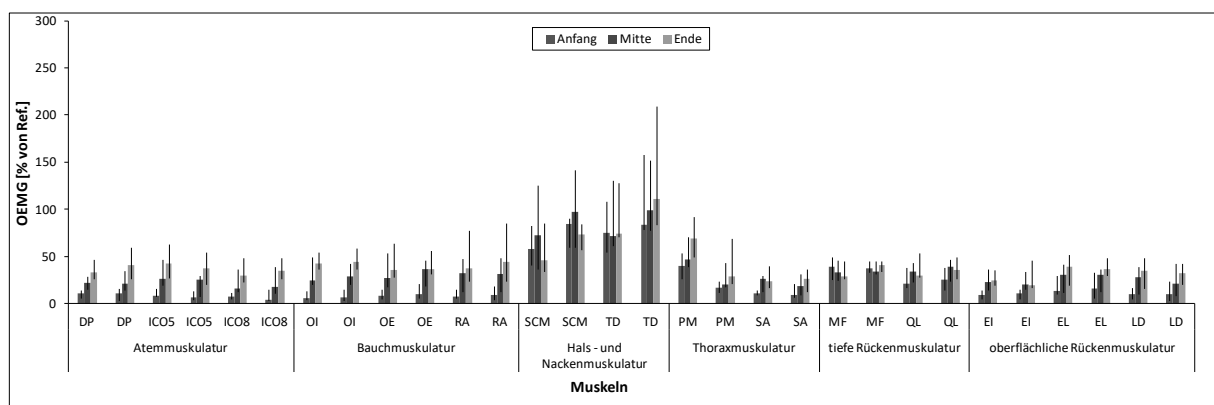


Abbildung 5.44 Schwellton: Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), Sänger

In Abbildung 5.45 zeigt sich, dass die einzelnen Körperseiten Unterschiede aufweisen. So ist es die linke Seite, welche von den Frauen dominiert wird, wohingegen die rechte Seite ein ausgeglichenes Muster aufweist. Auch ist zu sehen, dass auf der linken Körperseite die Muskeln zu Beginn der Übung immer bei den Frauen das höchste Anstrengungsmaß aufweist.

Anfang	Mitte	Ende	Intervall	Anfang	Mitte	Ende
	Links		Muskeln		Rechts	
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.45 Schwellton: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.4.2 Intermuskuläre Koordination

Wie auch in den vorangegangenen Übungen ist es der OI, der bei beiden Geschlechtern den größten Anteil an der muskulären Koordination übernimmt. Dieser übernimmt in der Mitte und am Ende der Übung zwischen 15% und 20% der Gesamtarbeit bei den Frauen, bei den Männern zwischen 18% und 22%. Vom OI gefolgt ist bei beiden Gruppen die Hals- und Nackenmuskulatur (SCM und TD). Die restlichen Muskeln verteilen sich zwischen 1% und 7% (Abbildung 5.46 und Abbildung 5.47).

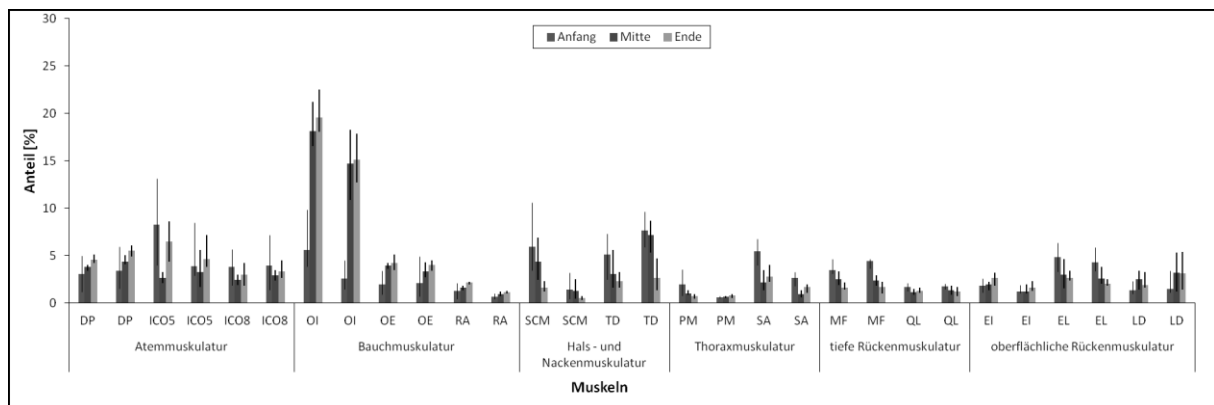


Abbildung 5.46 Schwellton: Intermuskuläre Koordination, Holzbläserinnen (Querflöte)

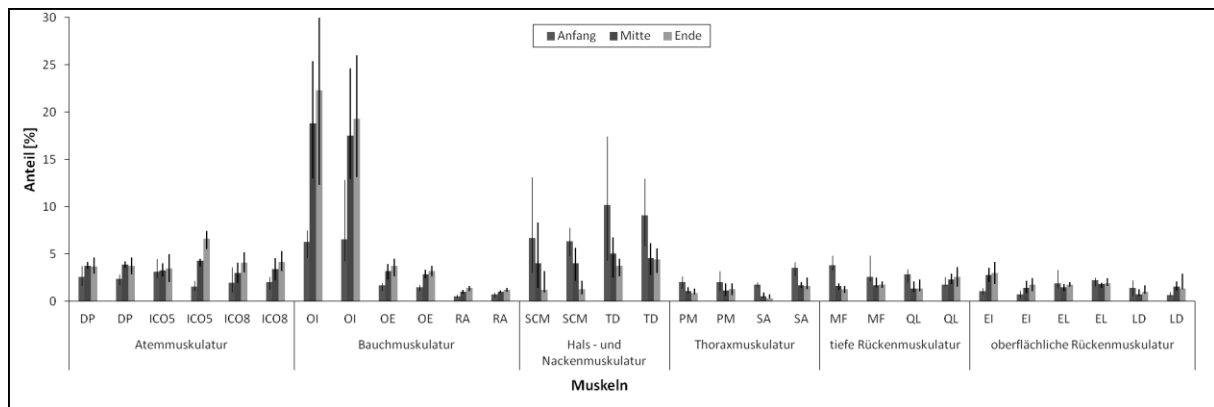


Abbildung 5.47 Schwellton: Intermuskuläre Koordination, Blechbläser

Sowohl bei den Sängerinnen in Abbildung 5.48 und bei den Sängern in Abbildung 5.49 zeigt sich wieder der OI mit dem größten Anteil im Koordinationsmuster. Bei den Sängerinnen spielen die Thoraxmuskulatur und der RA eine untergeordnete Rolle. Bei den Sängern ist dies zusätzlich noch der OE.

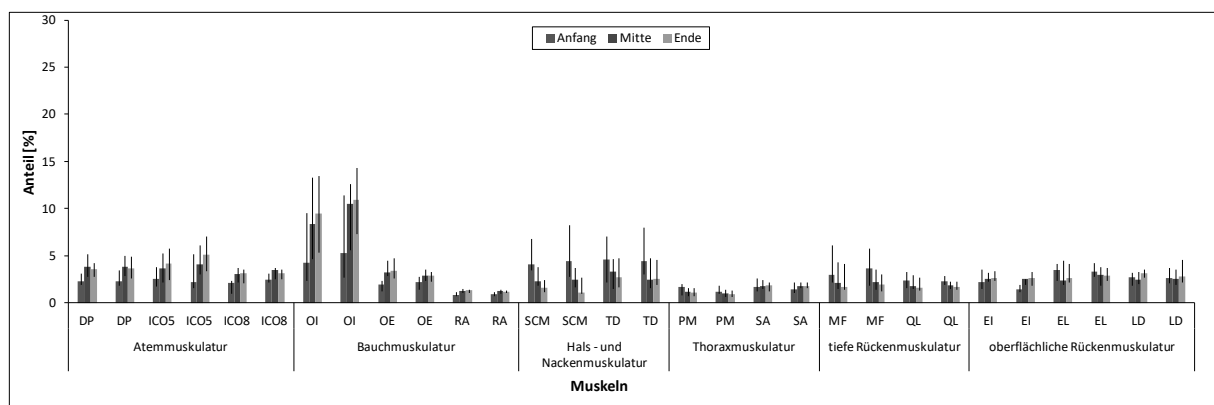


Abbildung 5.48 Schwellton: Intermuskuläre Koordination, Sängerinnen

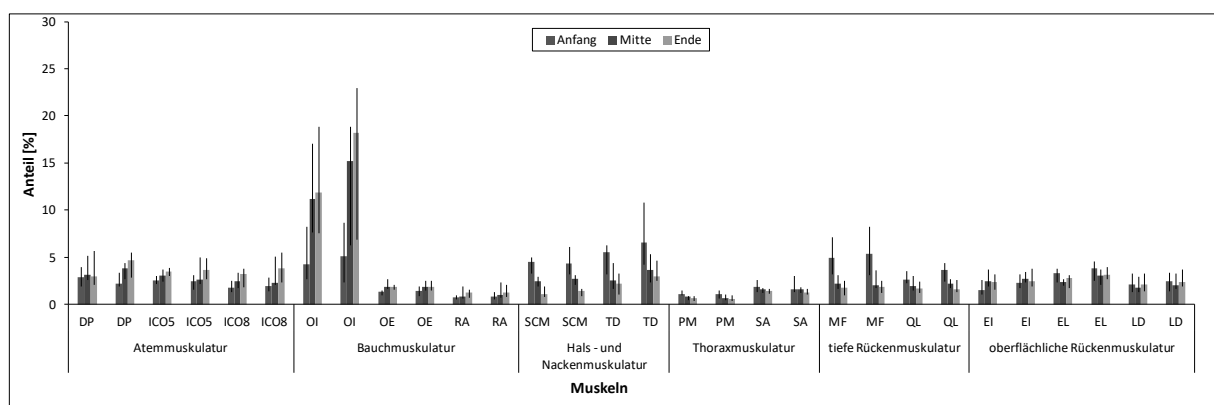


Abbildung 5.49 Schwellton: Intermuskuläre Koordination, Sänger

Mithilfe des U-Tests in Abbildung 5.50 zeigt sich, dass beide Geschlechter beide Körperhälften in etwa gleich stark benutzen. Die Verteilung der Maximalwerte im Koordinationsmuster zeigt keine eindeutige Geschlechtsverteilung.

Anfang	Mitte	Ende	Intervall	Anfang	Mitte	Ende
	Links		Muskeln		Rechts	
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.50 Schwellton: Vergleich von weiblichen und männlichen Bläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellblau/dunkelblau: Die Blechbläser haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Holzbläserinnen. Hellrot/dunkelrot: Die Holzbläserinnen haben einen höheren relativen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.1.4.3 Vergleich von Sängern und Bläsern

Bezogen auf das Anstrengungsmaß fällt in Abbildung 5.51 und Abbildung 5.52 auf, dass bei den Frauen die Sängerinnen höhere Aktivitäten aufzeigen als die weiblichen Bläser. Besonders das Lautstärkemaximum in der Mitte der Übung zeigt hierbei die meisten signifikanten Unterschiede. Bei den Männern hingegen zeigt die Atem- und Bauchmuskulatur (außer RA) bei den Bläsern höhere Werte, wohingegen die Nacken-, Hals- und Rückenmuskulatur bei den Sängern höhere Werte aufzeigt, einige davon auch signifikant.

Anfang	Mitte	Ende	Intervall	Anfang	Mitte	Ende
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.51 Schwellton: Vergleich von Sängerinnen und Flötistinnen. Links die Männer und Rechts die Frauen. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Flötistinnen haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sängerinnen. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sängerinnen haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Flötistinnen. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Anfang	Mitte	Ende	Intervall	Anfang	Mitte	Ende
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.52 Schwellton: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Blechbläser haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zur Referenz), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben ein höheres Anstrengungsmaß (relativ zu Referenz) als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Betrachtet man nun in Abbildung 5.53 und Abbildung 5.54 die Verteilung der untersuchten Gruppen, so ist sowohl bei den Frauen, als auch bei den Männern das Koordinationsmuster auf Seiten der Bläser mit höheren Werten. Lediglich ein paar Bereiche in der Rückenmuskulatur weisen bei den Sängern und Bläsern gleiche Werte auf, bzw. sind leicht auf Seiten der Sänger. Bei den Männern zeigt sich vor allem, dass für einen großen Teil der Atem-, Bauch-, Hals- und Nackenmuskulatur bei den Bläsern höhere, wenn auch nicht signifikante Werte bestehen. Im Bereich der oberflächlichen Rückenmuskulatur liegen die höheren, zweimal signifikant nachweisbaren Werte bei den Sängern.

Anfang	Mitte	Ende	Intervall	Anfang	Mitte	Ende
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.53 Schwellton: Vergleich von Sängerinnen und Flötistinnen. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Flötistinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sängerinnen. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sängerinnen haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit als die Flötistinnen. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Anfang	Mitte	Ende	Intervall	Anfang	Mitte	Ende
Links			Muskeln	Rechts		
			DP			
			ICO5			
			ICO8			
			OI			
			OE			
			RA			
			SCM			
			TD			
			PM			
			SA			
			MF			
			QL			
			EI			
			EL			
			LD			

Abbildung 5.54 Schwellton: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt ist der Mann-Whitney-U-Test. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Hellgrau/dunkelgrau: Die Blechbläser haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit (intermuskuläre Koordination), als die Sänger. Hellgrün/dunkelgrün: Die Sänger haben einen höheren prozentualen Anteil an der Gesamtarbeit als die Blechbläser. Dunkel bezeichnet jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

5.2 Zeitabhängige Betrachtung

5.2.1 Bandausdehnungen

Im Folgenden wird die Bänderausdehnung, stellvertretend für alle Übungen, exemplarisch an der Schwelltonübung beschrieben.

Auf Abbildung 5.55 erkennt man die Bandausdehnung während der Einatmung im zeitlichen Verlauf, welcher auf der Abszisse auf 100% zeitnormiert dargestellt ist. Auf der Ordinate erkennt man die relative Bandausdehnung in Prozent zur Referenz. Dargestellt ist dies für die Sängerinnen und Sänger (links) und die Holzbläserinnen und Blechbläser (rechts), für jeweils alle drei Bänder.

Bei der Betrachtung von Abbildung 5.55 zeigt sich für die Einatemphase eine stetige Dehnung der Bänder bei Sängern und Bläsern. Wie bereits bei Jähkel (2014) erwähnt, sieht man bei den Sängern die größte Ausdehnung in den Bändern um Flanke und Bauch. Dies trifft auch bei den Bläsern zu. Ebenfalls bei Jähkel beschrieben, wurde die maximale Auslenkung der Bänder, welche sich nicht zum Ende der Einatmung befindet, sondern schon bei 75%. Dies zeigt sich bei den Holzbläserinnen sogar noch eher (50%); bei den

Blechbläsern zeigen nur Band 2 und 3 ihre Maxima vor Ende der Einatemphase. Lediglich Band 3 hat einen stetigen Anstieg bis zum Ende der Einatmung. Bei den Holzbläserinnen tritt noch das Band 2 hervor, welches einen deutlichen Umfangszuwachs bei 25% hat und dann im weiteren Verlauf auf einem hohen Niveau bleibt.

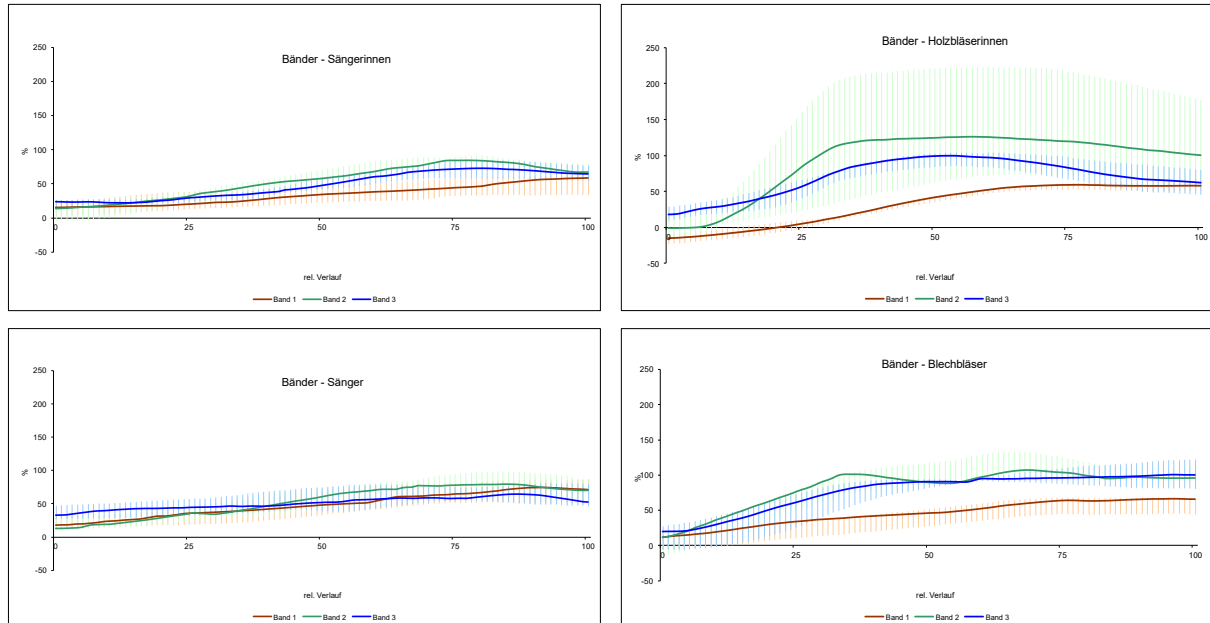


Abbildung 5.55 Bänderausdehnung während der Einatmung. Zeitlicher Verlauf in 100% auf der Abszisse. Bänderdehnung relativ zu Referenz in % auf der Ordinate

Bei Betrachtung der Bänder während der gesamten Übung (Abbildung 5.56), zeigt sich bei den Sängerinnen und Sängern eine stetige Abnahme der Bänderlängen bis zum Ende der Übung. Bei den Holzbläserinnen ist eine deutliche Abnahme der Ausdehnung nur bis zu 50% der Übung zu sehen. Danach nimmt die Ausdehnung weiterhin ab, jedoch nicht so stark wie am Anfang der Übung. Bei den Blechbläsern ist dies ähnlich. Hier fällt zudem noch auf, dass das Band 3 bis 25% der Übung sogar noch einen Anstieg aufweist, dann aber innerhalb kurzer Zeit stark abfällt.

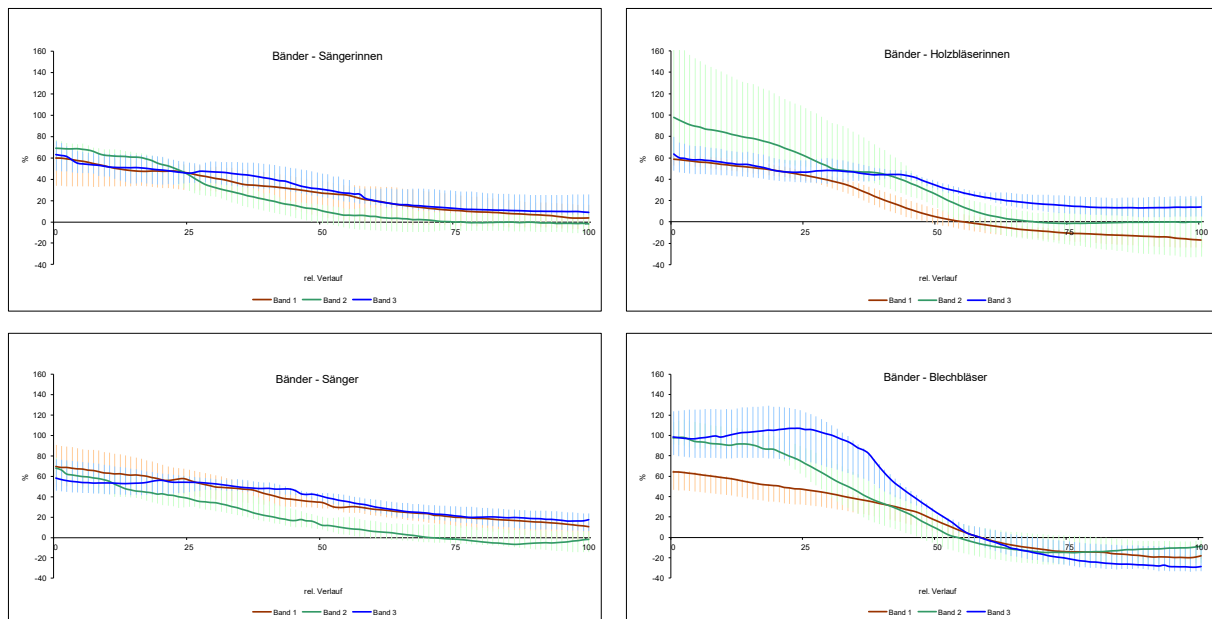


Abbildung 5.56 Bänderausdehnung während der gesamten Übung. Zeitlicher Verlauf in 100% auf der Abszisse. Bänderdehnung relativ zu Referenz in % auf der Ordinate

Betrachtet wird nun die Aktivität der Muskeln während der Einatmung und im Verlauf der gesamten Übung.

Die folgenden Abbildungen sind so aufgebaut, dass jeder Muskel über den Verlauf der Einatmung oder der jeweiligen ganzen Übung betrachtet werden kann. Der zeitliche Verlauf ist auf der Abszisse, wie in Abbildung 5.57 beschrieben, zu sehen. Er verläuft in 10%-Schritten, beginnend bei 10% bis 100%.

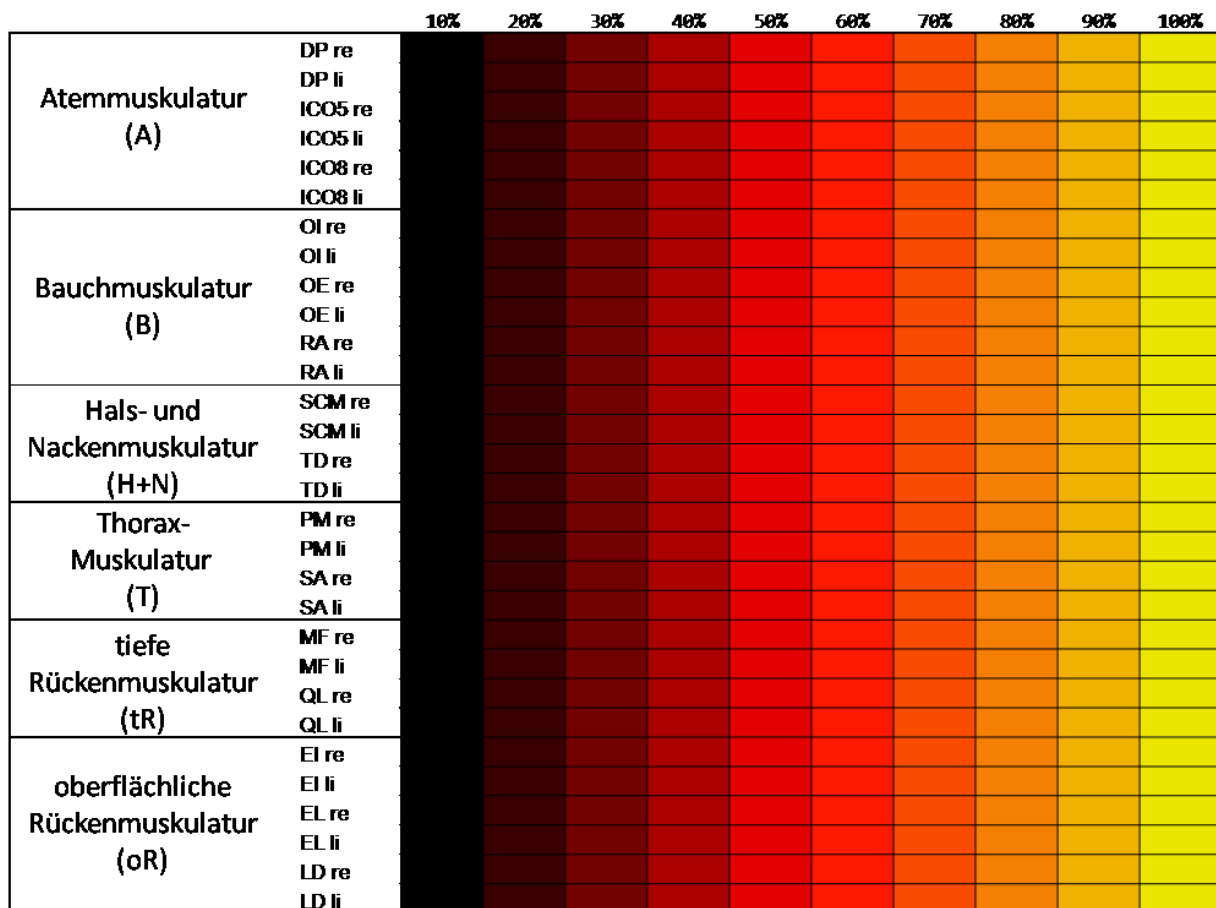
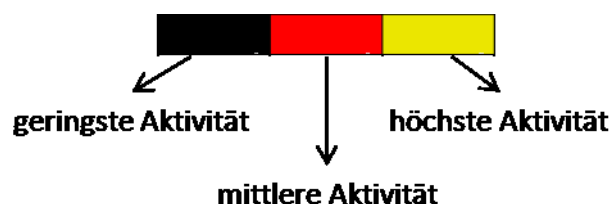


Abbildung 5.57 Beispielgrafik für das Koordinationsmuster in der folgenden Auswertung

Bei der Betrachtung der einzelnen Muskeln, zeigt sich in jeder Zeile je ein Feld mit geringster Aktivität (schwarz), ein Feld mit mittlerer Aktivität (rot) und ein Feld mit maximaler Aktivität (gelb).



Da die Aktivitäten interindividuelle Unterschiede in den Minima und Maxima aufwiesen, wurde die eben beschriebene Farbeinteilung in einem zweiten Diagrammblock über alle Muskeln angewandt. Dort findet sich dann in einem Block nur ein Minimum und Maximum pro untersuchte Personengruppe. Hierbei ist zu beachten, dass damit lediglich Aussagen über die Aktivierungsdynamik eines Muskels, bzw. einer Muskelgruppe im zeitlichen Verlauf der Übung gemacht werden kann, nicht aber über den absoluten Anteil des Muskels an der Gesamtarbeit während der gesamten Übung, da es sich hier um Relativdarstellung handelt.

5.2.2 Einatemphase

Im Folgenden wird die Einatemphase, stellvertretend für alle Übungen, exemplarisch an der Schwelltonübung beschrieben.

Bei der Betrachtung der einzelnen Muskeln während der Einatmung vor der Schwelltonübung, weisen Sängerinnen und Sänger in Abbildung 5.58 ein ähnliches Bild im Verlauf der Übung auf. Bei den Sängerinnen zeigt sich bei fast allen Muskeln eine Zunahme des Aktivierungsniveaus im Verlauf der Einatmung. Dabei haben die einzelnen Muskeln zu Beginn der Einatmung ihr eigenes übungsspezifisches Aktivitätsminimum und steigern sich im Verlauf des Einatmens, bis ihr Maximum bei ca. 70%-90 % des Einatmens erreicht wird. Lediglich die Bauchmuskulatur und der TD weisen zu Beginn der Einatmung ihr höchstes Niveau auf, welches zum Ende des Einatmens weiter abfällt. Dieser inverse Verlauf zeigt sich auch bei den Sängern, hier aber nur für den OI und angedeutet für den TD. Die restlichen Muskeln weisen, wie bei den Sängerinnen, ihr übungsspezifisches Minimum zu Beginn der Einatmung, ihr Maximum bei 80-90 % des zu betrachteten Abschnitts und einen leichten Abfall bei 100% auf.

Bei den Bläsern zeigt sich auf Seiten der Holzbläserinnen das minimale muskelspezifische Aktivierungsniveau zu Beginn der Einatmung, welches sich bis ca. 20%-(30%) erstreckt und dann im Verlauf zunimmt (Maximum bereits bei (50%)-70%, anstatt wie bei den Sängerinnen erst bei 70%-90%) und dann allerdings wieder leicht abnimmt. Bei den Blechbläsern hingegen zeigt sich eine Dynamik der einzelnen Muskeln mit anfänglichem ebenfalls geringem Aktivierungsniveau und darauf folgender maximaler Aktivierung relativ zum Verlauf während der Einatmung (60%-70%). Anschließend ist eine deutlichere Abnahme der Muskelaktivierung als bei den Holzbläserinnen zu beobachten, was bei den Sängerinnen und Sängern so überhaupt nicht zu beobachten war. Ein inverser Verlauf von OI und TD zeigt sich sowohl bei den Holzbläserinnen, als auch den Sängerinnen. Bei den Blechbläsern findet sich ein solcher Verlauf neben OI und TD auch beim EL, welcher bei den Sängern eine ansteigende Aktivierung während der Einatmung hat.

Bei der Betrachtung aller Muskeln in den vier rechten Blöcken von Abbildung 5.58 ist es nun möglich die einzelnen Aktivierungsverläufe, eingeordnet in das über alle Muskeln hinweg nachweisbare minimale bzw. maximale Aktivierungsniveau, bezogen auf die gesamte Dynamik während des Einatmens, zu beurteilen. Hierbei fällt sowohl bei den Sängerinnen und Sängern, als auch bei den Holzbläserinnen und Blechbläsern, der Inverse Verlauf des OI auf. Dieser hat bei allen vier Gruppen zu Beginn der Einatmung ein höheres Aktivierungsniveau, welches im Laufe des zu betrachteten Zeitraums wieder abfällt.

Vergleicht man nun die Sängerinnen mit den Holzbläserinnen, so zeigt sich eine ähnliche Aktivierungsdynamik der Muskeln im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur, wobei bei den Sängerinnen zu Beginn der Einatmung eine stärkere Zunahme der Aktivität zu sehen ist. Diese steigt auch bei den Sängerinnen kontinuierlich bis zum Ende der Übung (70-90%) an, bevor sie wieder leicht abfällt. Bei den Holzbläserinnen ist ein solch starker Anstieg nicht zu sehen. Der TD ist bei beiden Gruppen im Laufe der Einatmung für diese Darstellung mit wenig Dynamik behaftet. Die restliche Muskulatur zeigt bei den Sängerinnen und Holzbläserinnen einen ansteigenden Verlauf, wobei das Maximum des einzelnen Muskels bei den Sängerinnen etwas später (70%-90%) zu sehen ist, als bei den Holzbläserinnen (bereits bei 50%-70%). Dies zeigte sich allerdings auch schon in der Absolutdarstellung.

Beim Vergleich von Sängern und Blechbläsern zeigt sich auf Seiten der Sänger, dass dort eine im Vergleich zu den Bläsern, deutlich phasischere Aktivitätsänderung der einzelnen Muskeln zu sehen ist. Vor allem im Bereich der Atem-, Bauch- und Thoraxmuskulatur zeigt sich bei den Sängern ein zu Beginn der Einatmung niedriges übungsspezifisches Aktivierungsniveau, welches sich abrupt zur Mitte der Übung (50%) dann wieder steigert, bis zum übungsspezifischen Maximum bei 80-90%. Bei den Blechbläsern ändert sich das Aktivierungsniveau bereits bei 30-40%, erreicht sein Maximum auch eher (60-80%), bevor es dann wieder stärker abnimmt, als es bei den Sängern der Fall ist. Sowohl der TD, als auch der EL zeigen bei Sängern und Blechbläsern kaum eine Änderung des Aktivierungsniveaus. Die beiden Muskeln sind auf einem ähnlichen mittleren Niveau während der gesamten Einatmung.

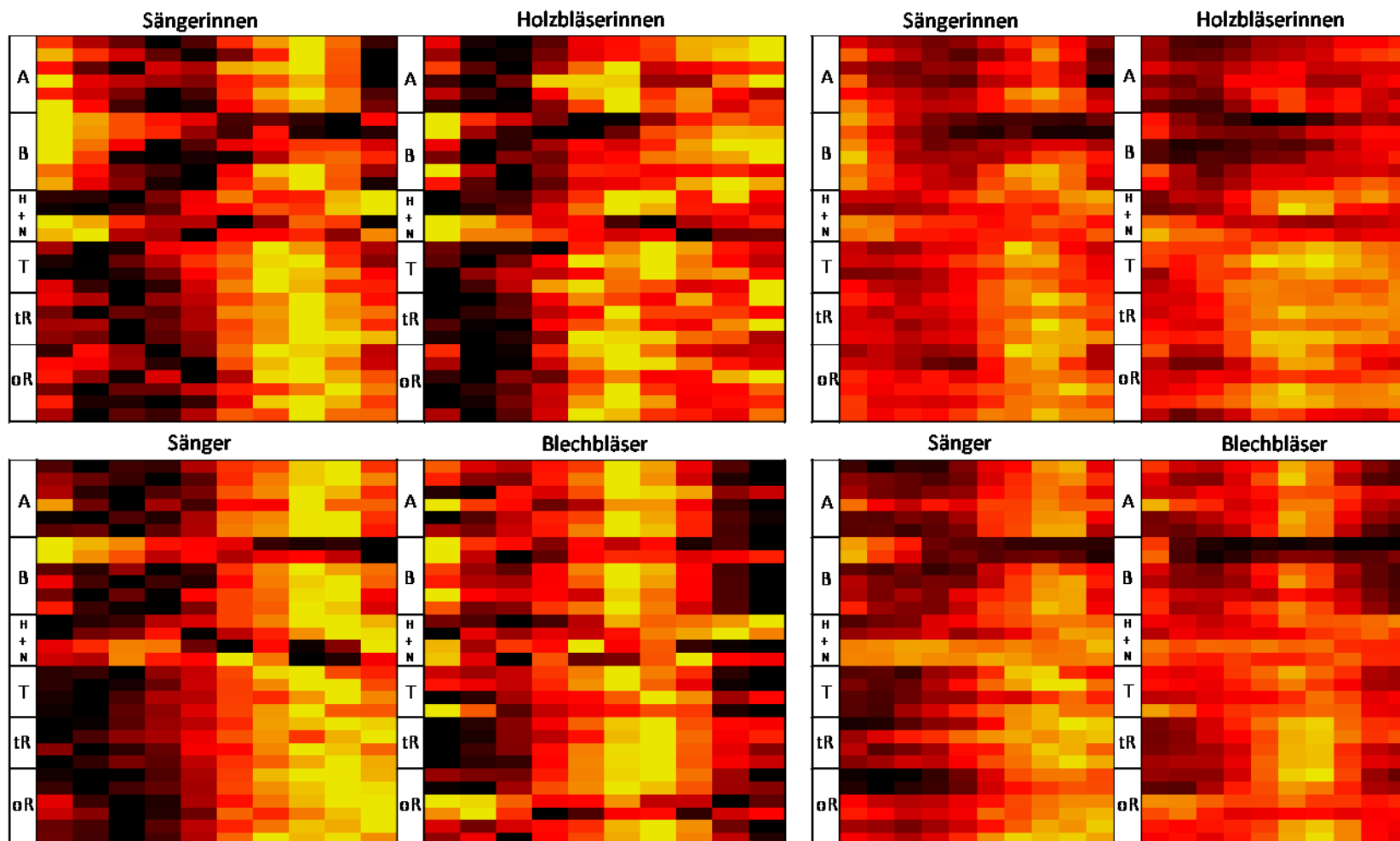


Abbildung 5.58 Schwellton – Einatmung, Dargestellt sind die auf das vorkommende Übungsmaximum normierten Verlaufsdaten mit einer Auflösung von 10%. Im linken Teil erfolgt die Darstellung für jeden Muskel einzeln normiert, im rechten Teil erfolgt die Farbkodierung unter Berücksichtigung aller Werte des jeweiligen Blocks. Aus Platzgründen sind in den Zeilenköpfen nur die Muskelgruppen bezeichnet. Die Anordnung der einzelnen Muskeln ist Abbildung 5.57 zu entnehmen.

5.2.3 Vokalausgleich

Mit Ausnahme von SCM, MF und QL, welche einen ungeordneten, bzw. inversen Verlauf während der Übung aufzeigen, veranschaulicht Abbildung 5.59 bei den Sängerinnen eine stetige Zunahme des Aktivitätsniveaus im Verlauf der gesamten Übung. Beginnend mit dem Minimum im ersten Abschnitt der Übung (10-30%) und dem Maximum bei 90%, zeigt sich eine fast identische Aktivitätsänderung über alle Muskeln hinweg. Bei den Holzbläserinnen zeigt sich zwar eine ähnliche Zunahme des Aktivierungsniveaus, das Maximum befindet sich hier jedoch meist am Ende der Übung (100%). Einen inversen, bzw. ungeordneten Verlauf haben bei den Holzbläserinnen der SCM, SA und MF, was sich bei den Sängerinnen nur beim SCM und teilweise MF zeigt. Auch auffällig im Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen ist es, dass bei den Holzbläserinnen kein so geordnetes Bild über die Mehrzahl der Muskeln auftritt, wie es bei den Sängerinnen ist. Dies zeigt sich bei den Holzbläserinnen vor allem im Bereich der Hals-, Nacken- und Thoraxmuskulatur.

Beim Vergleich von Sängern und Blechbläsern zeigt sich zuerst wieder das abnehmende, inverse Aktivitätsmuster sowohl von SCM (und MF) bei den Sängern, als auch MF und teilweise SA bei den Blechbläsern. Bei der Gesamtbetrachtung über alle Muskeln zeigt sich wieder ein ähnliches Bild wie bei dem Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen. Hier haben die Blechbläser wieder ein eher ungeordnetes Aktivierungsbild als die Sänger.

Ein kurzer Vergleich von Holzbläserinnen und Blechbläsern zeigt, dass die Holzbläserinnen ihr übungsspezifisches Aktivitätsmaximum zum Ende der Übung aufweisen (90-100%). Das Maximum des Aktivierungsniveaus bei den Blechbläsern hingegen liegt bei 90%. Zum Ende der Übung (100%) fällt dieses sogar wieder leicht ab.

Betrachtet man nun die vier rechten Blöcke von Abbildung 5.59 so zeigt sich im Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen eine ähnliche Dynamik der Aktivierung im Bereich der Atem-, Bauch- und oberflächlichen Rückenmuskulatur. Bei den Holzbläserinnen zeigt sich im Bereich der Thoraxmuskulatur kaum Dynamik in der Aktivierung. Dies ist bei den Sängerinnen anders. Hier ist zu Beginn der Übung ein vermindertes übungsspezifisches Niveau zu sehen, welches sich zum Ende der Übung stetig steigert. Bei den Holzbläserinnen sind die Muskeln der Thoraxmuskulatur weitgehend konstant auf einem mittleren übungsspezifischen Niveau aktiviert. Die Hals-, Nacken-, tiefe Rückenmuskulatur und EL zeigen in beiden Gruppen weniger Dynamik. Die Muskeln sind aber auf einem mittleren Aktivierungsniveau, gemessen zum übungsspezifischen Maximum, aktiv.

Der Vergleich von Sängern und Blechbläsern weist ein sehr ähnliches Muster wie soeben für den Vergleich von Sängerinnen und Bläserinnen beschrieben auf. Beide Gruppen haben im

Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur ein ansteigendes Aktivierungsniveau. Im Bereich der Thoraxmuskulatur ist bei den Blechbläsern wenig Dynamik, allerdings sind die Muskeln auf einem mittleren Niveau aktiviert. Auch die Hals-, Nacken- und oberflächliche Rückenmuskulatur zeigen ein gleich bleibendes, auf mittlerem Aktivierungsniveau befindlichen, Verlauf.

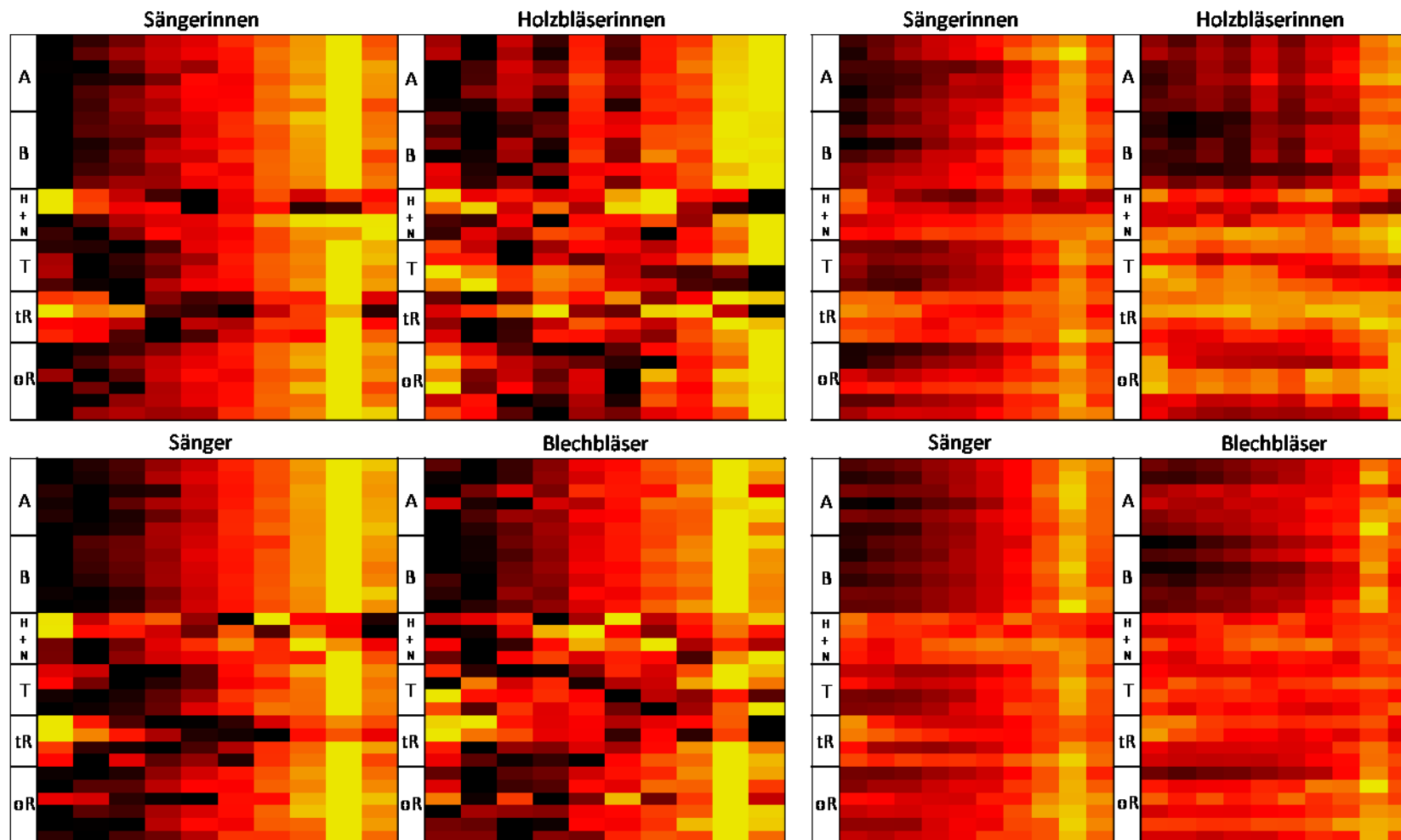


Abbildung 5.59 Vokalausgleich - ganze Übung: Dargestellt sind die auf das vorkommende Übungsmaximum normierten Verlaufsdaten mit einer Auflösung von 10%. Im linken Teil erfolgt die Darstellung für jeden Muskel einzeln normiert, im rechten Teil erfolgt die Farbkodierung unter Berücksichtigung aller Werte des jeweiligen Blocks. Aus Platzgründen sind in den Zeilenköpfen nur die Muskelgruppen bezeichnet. Die Anordnung der einzelnen Muskeln ist Abbildung 5.57 zu entnehmen.

5.2.4 Dreiklang

Bei der Betrachtung von Abbildung 5.60 zeigt sich für die Sängerinnen und Holzbläserinnen ein ähnliches Bild wie beim Vokalausgleich. Über fast alle Muskeln haben die Sängerinnen ein geringes Aktivitätsniveau am Anfang der Übung. Dieses steigt stetig an und hat sein Maximum bei 90 bis 100% der Übung. Ausnahme hier ist wieder der SCM. Dieser hat erneut einen inversen Verlauf mit seinem Aktivitätsmaximum zum Anfang der Übung. Dieser inverse Verlauf ist auch bei den Holzbläserinnen zu beobachten. Hier ist dies zusätzlich noch beim SA und MF zu sehen. Auch die restliche tiefe (QL) und gesamte oberflächliche Rückenmuskulatur (mit Ausnahme LD) hat bei den Holzbläserinnen zu Beginn der Übung nicht ihre übungsspezifische Minimalaktivierung. In diesem Bereich haben die Muskeln ein mittleres Aktivierungsniveau, welches kurz absinkt, bevor es sein Maximum wieder, ähnlich wie die restlichen Muskeln, bei 90 % erreicht. Beim Vergleich der Sänger mit den Blechbläsern zeigt sich ein ähnliches Muster. Bei den Sängern hat wieder der SCM einen inversen Verlauf. Die restliche Muskulatur hat einen ansteigenden Verlauf der Muskelaktivierung während des Dreiklangs. Das Maximum befindet sich ebenfalls bei 90-100%. Bei den Blechbläsern haben SCM, SA und MF einen inversen Verlauf. Die restlichen Muskeln eine nahezu ansteigende Aktivierung im Verlauf der Übung. Die Maxima der einzelnen Muskeln erstrecken sich bei den Blechbläsern zwischen 80 und 100%, wobei die Holzbläserinnen bei den meisten Muskeln ihr Maximum bei 90% haben, dann nochmal kurz mit der Aktivierung abfallen, was bei den Blechbläsern eher nicht zu beobachten ist.

Betrachtet man nun wieder die vier rechten Blöcke, so zeigt sich bei den Sängerinnen erneut eine ansteigende Dynamik im Bereich der Atem-, Bauch-, Thorax- und oberflächlichen Rückenmuskulatur, die auch beim QL zu finden ist. Hier beginnen die Muskeln mit einem insgesamt niedrigen Aktivierungsniveau, steigern sich im Laufe der Übung und erreichen ihr Maximum bei 100%. Dies lässt sich bei den Holzbläserinnen nur im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur beobachten, wo das Maximum jedoch bereits bei 90% auftritt. Der MF, wie auch die Hals- und Nackenmuskulatur zeigen bei beiden Gruppen eine ähnliche, gleich bleibende Aktivierung. Hier verbleiben die Muskeln während der gesamten Übung auf einem indifferenten Aktivierungsniveau. Bei den Holzbläserinnen ist dies auch noch im Bereich der Thoraxmuskulatur, QL und teilweise in der oberflächlichen Rückenmuskulatur zu sehen. Bei letzteren, ist allerdings wieder etwas mehr Dynamik zu sehen, nicht aber so deutlich wie im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur.

Auch bei den Sängern zeigt sich ein ähnliches Muster der Aktivierung der einzelnen Muskeln. Die Atem-, Bauch-, Thorax-, oberflächliche Rückenmuskulatur und QL zeigen einen zu

Beginn der Übung ansteigenden Verlauf der Muskelaktivierung. Das Maximum befindet sich bei 90-100%. Im Gegensatz zu den Sängerinnen (TD), zeigt sich bei den Sängern ein inverser Verlauf des SCM. Außerdem zeigt sich sowohl bei den Sängern, wie auch bei den Blechbläsern ein gleichbleibendes Aktivierungsniveau der Hals- und Nackenmuskulatur und des MF. Bei den Blechbläsern ist die Dynamik der Muskelaktivierung wieder ähnlich wie bei den Holzbläserinnen. Dort zeigt sich wieder nur im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur eine starke Dynamik der Muskelaktivierung. Die restliche Muskulatur zeigt bei den Blechbläsern eine auf etwa gleichem Niveau befindliche Muskelaktivierung.

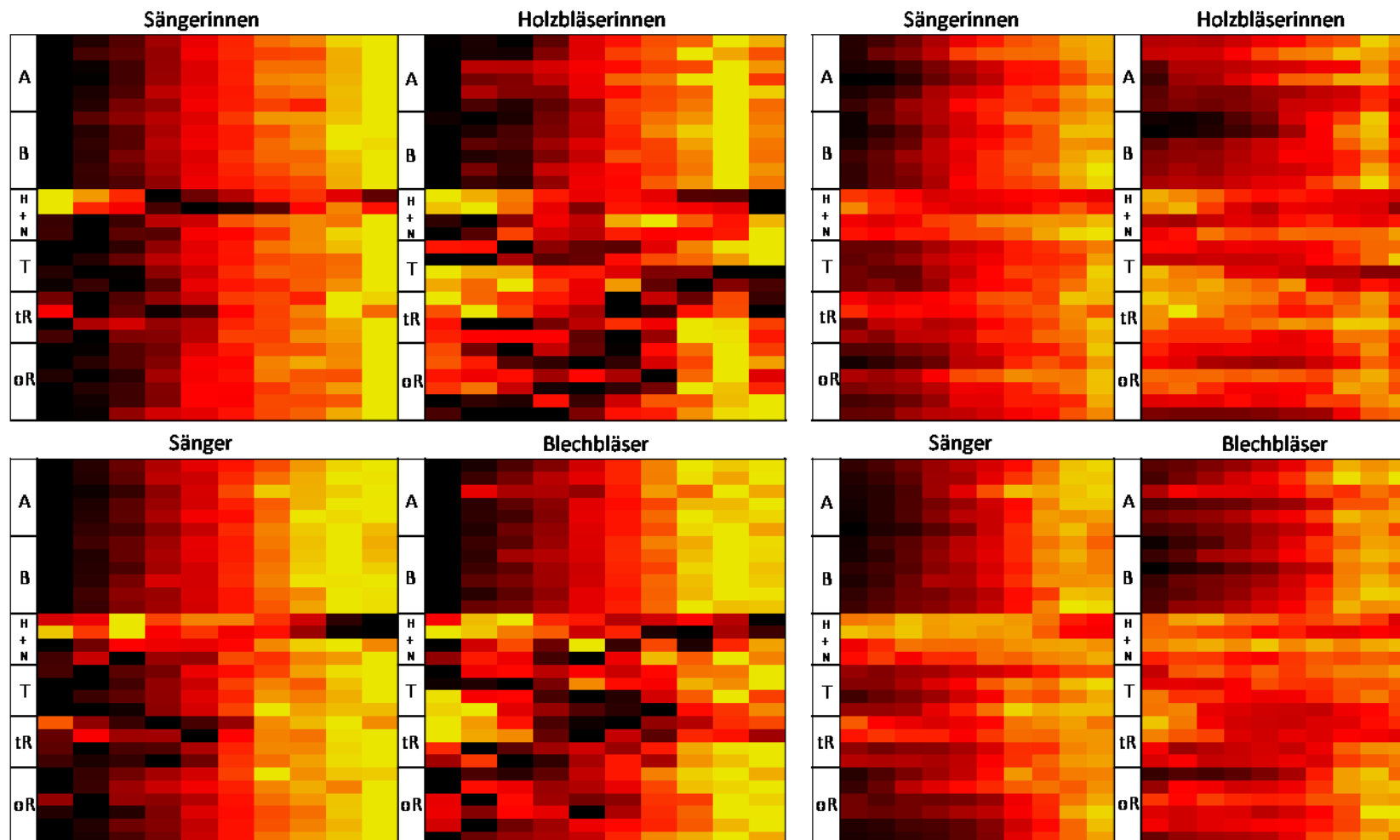


Abbildung 5.60 Dreiklang - Gesamte Übung: Dargestellt sind die auf das vorkommende Übungsmaximum normierten Verlaufsdaten mit einer Auflösung von 10%. Im linken Teil erfolgt die Darstellung für jeden Muskel einzeln normiert, im rechten Teil erfolgt die Farbkodierung unter Berücksichtigung aller Werte des jeweiligen Blocks. Aus Platzgründen sind in den Zeilenköpfen nur die Muskelgruppen bezeichnet. Die Anordnung der einzelnen Muskeln ist Abbildung 5.57 zu entnehmen.

5.2.5 Tonleiter

5.2.5.1 Gesamte Übung

Ein Blick auf die gesamte Übung Tonleiter (Abbildung 5.61) zeigt bei den Sängerinnen mit Ausnahme des SCM bei allen Muskeln ein zu Beginn niedriges Aktivierungsniveau, welches sich im Laufe der Übung steigert. Die Maxima der einzelnen Muskeln befinden sich jeweils zwischen 50% (DP und EI) und 100%, wobei die Mehrheit der Muskeln zwischen 90 bis 100% liegt. Als einzige Ausnahme ist wieder der SCM zu sehen, welcher sein übungsspezifisches Aktivitätsmaximum zu Beginn der Übung hat, zur Mitte der Übung (im Bereich der None) wieder abfällt, um dann wieder leicht anzusteigen. Bei den Holzbläserinnen zeigt sich eine andere Dynamik der einzelnen Muskeln. Hier haben die Muskeln im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur zu Beginn der Übung ein eher niedriges Aktivierungsniveau, welches im Bereich der None sein Maximum aufweist und dann zum Ende der Übung wieder abnimmt. Einen inversen Verlauf des SCM ist bei den Holzbläserinnen nicht zu sehen. Dafür aber beim TD. Dieser hat zu Beginn der Übung ein eher niedriges übungsspezifisches Aktivitätsniveau, welches bis zur None leicht ansteigt, aber im Gegensatz zu den meisten anderen Muskeln am Ende der Übung (100%) nicht sein Minimalniveau, sondern sein Maximalniveau besitzt. Die restliche Muskulatur im Bereich der Thorax- und Rückenmuskulatur beginnt mit einem vergleichsweise hohen Aktivierungsniveau zu Beginn der Übung. Das Maximum befindet sich dann um die None herum (40-60%), fällt dann wieder ab, bis das übungsspezifische Minimum bei 100% der Übung erreicht ist.

Bei den Sängern zeigt sich zunächst im Bereich der Atem-, Bauch-, oberflächlichen Rückenmuskulatur und QL ein ähnliches Bild wie bei den Sängerinnen. Hier beginnen die Muskeln auf einem niedrigen Aktivierungsniveau und steigern sich im Lauf der Tonleiterübung. Die übungsspezifischen Maxima finden sich auch wieder in der zweiten Hälfte der Übung. Ein inverser Verlauf ist bei den Sängern im Bereich des SCM und MF zu sehen. Die restliche Muskulatur im Bereich der Hals-, Nacken- und Thoraxmuskulatur zeigt einen eher ungeordneten Aktivierungsverlauf. Lediglich das Maximum der meisten Muskeln ist im Bereich der None (40-60%) zu finden. Bei den Blechbläsern hingegen zeigt sich ein eher geordnetes Aktivierungsbild. Hier beginnen alle Muskeln mit Ausnahme von SA und MF zu Beginn der Übung auf einem niedrigen Aktivierungsniveau, haben ihr Maximum im Bereich der None und fallen dann zum Ende der Übung wieder ab. Der SA und MF haben zum Anfang der Übung ihr Aktivitätsmaximum, welches zur None hin wieder abfällt, zum Ende der Übung aber wieder leicht ansteigt.

Ein Blick auf die rechten vier Blöcke von Abbildung 5.61 zeigt zunächst für die Sängerinnen im Bereich der Atem-, Bauch-, Thorax- und oberflächliche Rückenmuskulatur ein vermindertes Aktivierungsniveau, welches im Laufe der Übung leicht zunimmt und zum Ende der Übung auf einem mittleren Niveau verbleibt. Bei den Holzbläserinnen hingegen ist zwar zu Beginn der Übung ein vermindertes Aktivierungsniveau im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur zu sehen, das Maximum befindet sich aber im Bereich der None (50%) und fällt dann wieder zum Ende der Übung ab, welches sich bei den Sängerinnen nicht zeigen lässt. Im Bereich der Thoraxmuskulatur, EI und LD ist bei den Sängerinnen zu Beginn ein ähnliches Muster zu sehen wie in der Atem- und Bauchmuskulatur. Diese Dynamik zeigt sich wiederum bei den Holzbläserinnen nicht. Oben genannte Muskeln sind dort auf einem konstanten mittleren Aktivierungsniveau und ändern ihre Aktivität kaum. SA und EI zeigen bei den Holzbläserinnen im Vergleich zu den Sängerinnen einen umgekehrten Verlauf. Diese Muskeln haben zu Beginn der Tonleiter ein mittleres Aktivierungsniveau, welches zum Ende der Übung sogar wieder abnimmt. Auch zeigt sich bei den Sängerinnen eine verminderte Aktivierungsdynamik des SCM, welche bei den Holzbläserinnen mehr Dynamik aufweist. Bei den Sängern ist im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur wieder ein ähnliches Aktivierungsbild zu sehen wie bei den Sängerinnen. Hier weisen alle Muskeln zu Beginn der Übung ein niedriges Aktivierungsniveau und steigern sich im Laufe der Übung, um am Ende der Übung auf einem mittleren Niveau zu bleiben. Bei den Blechbläsern hingegen ist wieder mehr Dynamik zu sehen. Diese starten zu Beginn der Tonleiter mit einem verminderten Aktivierungsniveau, haben das Maximum im Bereich der None und fallen dann wieder stark ab. Diese Änderung, gerade im Bereich von der None bis zum Ende lässt sich bei den Sängern nicht beobachten. Die Hals-, Nacken- Thorax- und tiefe Rückenmuskulatur zeigt sowohl bei den Sängern, als auch bei den Blechbläsern ein ähnliches Verlaufsmuster. Hier haben die Muskeln wenig Dynamik, befinden sich aber auch einem konstanten mittleren Aktivierungsniveau. Diese verminderte Dynamik zeigt sich bei den Blechbläsern auch im Bereich der oberflächlichen Rückenmuskulatur, was bei den Sängern aber nicht zu beobachten ist. Dort besitzen die Muskeln zu Beginn der Übung ein niedriges Aktivierungsniveau, steigern sich bis zur None auf ein mittleres Niveau, welches dann bis zum Ende der Übung beibehalten wird.

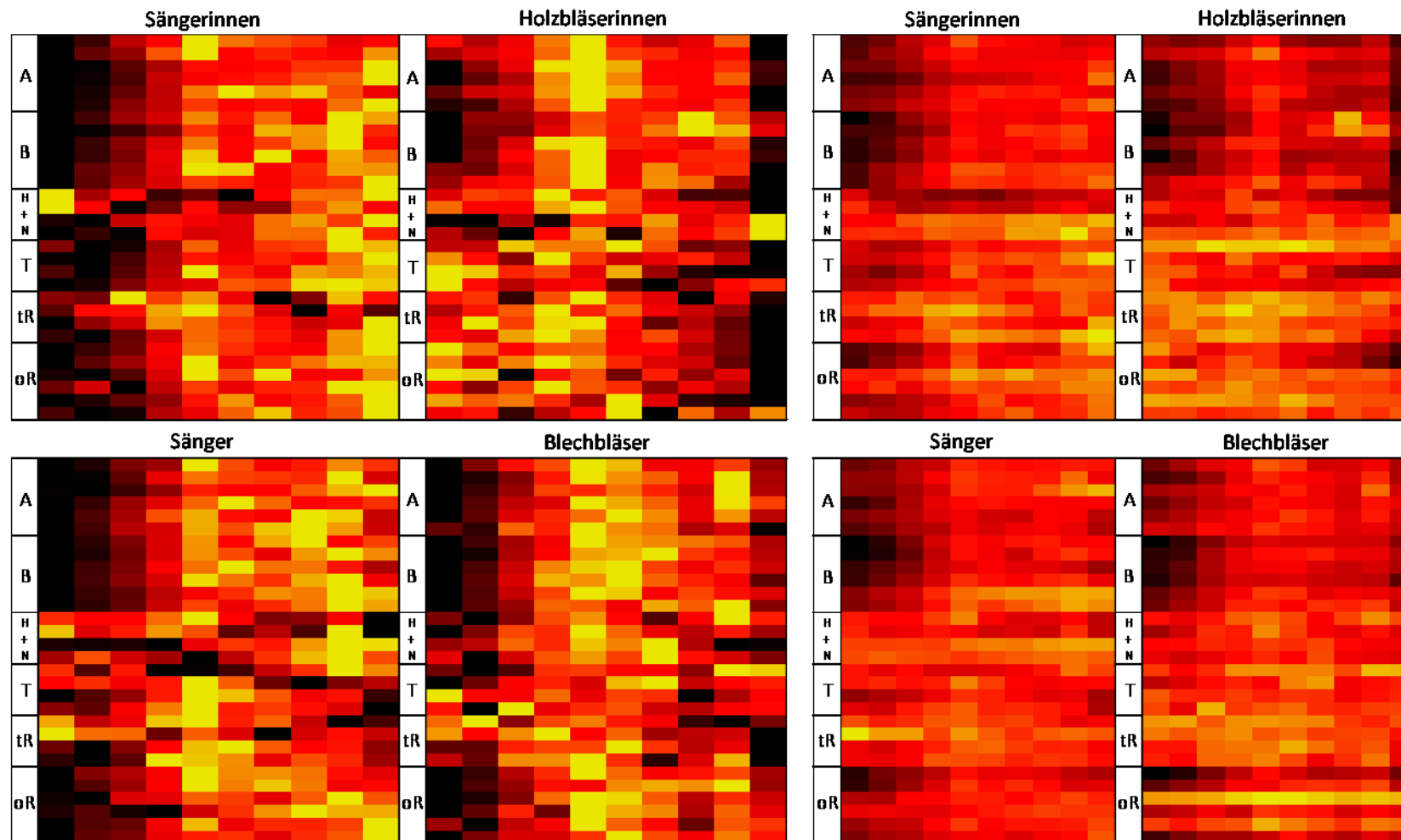


Abbildung 5.61 Tonleiter - Gesamte Übung: Dargestellt sind die auf das vorkommende Übungsmaximum normierten Verlaufsdaten mit einer Auflösung von 10%. Im linken Teil erfolgt die Darstellung für jeden Muskel einzeln normiert, im rechten Teil erfolgt die Farbkodierung unter Berücksichtigung aller Werte des jeweiligen Blocks. Aus Platzgründen sind in den Zeilenköpfen nur die Muskelgruppen bezeichnet. Die Anordnung der einzelnen Muskeln ist Abbildung 5.57 zu entnehmen.

5.2.5.2 Vergleich von Sängern und Bläsern.

Unabhängig von der in den vorherigen Abschnitten erfolgten deskriptiven Analyse der Verlaufsdaten konnten nur für die Übung Tonleiter statistisch signifikante Unterschiede zwischen Sängern und Bläsern nachgewiesen werden. Deshalb wird im Folgenden auf die Darstellung der restlichen Übungen verzichtet.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde bei dieser Betrachtung die Übung Tonleiter in Anfang und Ende geteilt. Der Anfang ist der zeitliche Verlauf vom Grundton bis zur None. Das Ende hingegen ist der zeitliche Verlauf von der None zurück zum Grundton. Die Normierung der Ergebnisse erfolgte nur für den jeweiligen Abschnitt (Anfang, bzw. Ende) und nicht über die gesamte Übung. Es folgt nun die jeweilige Beschreibung der Ergebnisse für den so definierten Anfang und das Ende der Übung Tonleiter.

Die nun folgenden vier Abbildungen sind so aufgebaut, dass der zeitliche Verlauf horizontal in 0,1-Schritten, die einzelnen untersuchten Muskeln vertikal dargestellt werden. Auf der linken Seite der jeweiligen Tabelle sind die Muskeln der linken Körperseite und auf der rechten Seite, die der rechten Körperhälfte zu finden. Die farbliche Kodierung beinhaltet helle Farben (Hellblau und Hellrot) für nicht signifikante Niveauunterschiede zwischen den untersuchten Gruppen und dunkle Farben (Dunkelblau und Dunkelrot) für signifikante Unterschiede nach Korrektur mittels family wise error rate. Wenn die Bläser eine höhere Amplitude aufweisen, sind die Felder blau markiert und wenn die Sänger höhere Werte haben, sind die Felder rot markiert.

Für die Interpretation der Ergebnisse ist wieder zu beachten, dass sich die dargestellten Ergebnisse auf die Amplitudenverlaufsdaten beziehen, also keine Aussagen zu tatsächlichen Amplitudenhöhen, sondern lediglich hinsichtlich ihrer Schwankungsbreite in Bezug auf das übungsspezifische Maximum möglich sind.

Anfang

In Abbildung 5.62 ist der Vergleich zwischen Sängerinnen und Holzbläserinnen während der ersten neun Töne bis zur None in der Tonleiterübung aufgeführt. Bereits auf den ersten Blick zeigt sich, dass die Holzbläserinnen über alle Muskeln (mit Ausnahme SCM und TD) meist die höheren Werte zeigen. Diese Unterschiede sind jedoch nur für die oberflächliche Rückenmuskulatur signifikant und auch dort nur teilweise. Eine Ausnahme bildet das Ende des zu betrachteten Zeitabschnittes (kurz vor der None), wo die Sängerinnen über fast alle Muskeln hinweg die höheren Werte zeigen. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Verlauf	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Links										Muskeln	Rechts									
										DP										
										ICO5										
										ICO8										
										OI										
										OE										
										RA										
										SCM										
										TD										
										PM										
										SA										
										MF										
										QL										
										EI										
										EL										
										LD										

Abbildung 5.62 Tonleiter, Anfang: Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen. Dargestellt sind die signifikanten Ergebnisse des T-Tests, nach Korrektur mittels der family wise error rate. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Blau: Die Holzbläserinnen haben einen höheren Anteil als die Sängerinnen im relativen Verlauf. Dunkelblau, wenn dieser Wert signifikant ist. Rot: Die Sängerinnen haben einen höheren Anteil im relativen Verlauf. Dunkelrot, wenn dieser zusätzlich signifikant ist.

Beim Vergleich der Männer während der ersten neun Töne bis zur None (Abbildung 5.63) fällt ein ähnliches Bild wie bei den Frauen auf. Die Blechbläser zeigen über den Großteil der Übung, über alle Muskeln (mit Ausnahme SCM und Teile der Atem- und Bauchmuskulatur) hinweg die höheren Werte. Die Sänger zeigen lediglich direkt zu Beginn und am Ende der Übung höhere Werte als die Bläser, dies jedoch nur am Ende für den ICO8 re, OE li, SA re und EI links auf statistisch signifikantem Niveau.

0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Verlauf	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Links										Muskeln	Rechts									
										DP										
										ICO5										
										ICO8										
										OI										
										OE										
										RA										
										SCM										
										TD										
										PM										
										SA										
										MF										
										QL										
										EI										
										EL										
										LD										

Abbildung 5.63 Tonleiter, Anfang: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt sind die signifikanten Ergebnisse des T-Tests, nach Korrektur mittels der family wise error rate. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Blau: Die Blechbläser haben einen höheren Anteil als die Sänger im relativen Verlauf. Dunkelblau, wenn dieser Wert signifikant ist. Rot: Die Sänger haben einen höheren Anteil im relativen Verlauf. Dunkelrot, wenn dieser zusätzlich signifikant ist.

Ende

Nun erfolgt die Betrachtung des zweiten Abschnitts der Übung (None bis Grundton) beginnend mit den Frauen. In Abbildung 5.64 zeigen sich nun mehr signifikante Ergebnisse, als bei den vorherigen Betrachtungen. Auch hier zeigen die Holzbläserinnen während des Großteils der Übung die höheren Werte. Für die tiefe und oberflächige Rückenmuskulatur ist dies auch vermehrt auf signifikantem Niveau nachweisbar. Am Ende der Übung (90-100%) werden fast alle betrachteten Muskeln der Sängerinnen wieder aktiver als die der Holzbläserinnen, wenn auch nicht auf signifikantem Niveau.

0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Verlauf	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
				Links						Muskeln					Rechts					
										DP										
										ICO5										
										ICO8										
										OI										
										OE										
										RA										
										SCM										
										TD										
										PM										
										SA										
										MF										
										QL										
										EI										
										EL										
										LD										

Abbildung 5.64 Tonleiter, Ende: Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen. Dargestellt sind die signifikanten Ergebnisse des T-Tests, nach Korrektur mittels der family wise error rate. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Blau: Die Holzbläserinnen haben einen höheren Anteil als die Sängerinnen im relativen Verlauf. Dunkelblau, wenn dieser Wert signifikant ist. Rot: Die Sängerinnen haben einen höheren Anteil im relativen Verlauf. Dunkelrot, wenn dieser zusätzlich signifikant ist.

Zuletzt erfolgt die Darstellung der Übung Tonleiter-Ende für den Vergleich der männlichen Sänger und der Blechbläser. Abbildung 5.65 veranschaulicht nun, dass die Sänger zu Beginn und Ende des zu untersuchenden Abschnitts die höheren Werte aufweisen. Diese waren für den ICO8 und QL der rechten Körperseite signifikant. Über den Rest des Abschnittes (20-90%) waren die höheren Werte auf Seiten der Blechbläser zu finden. Dort auch teils signifikant für die Thorax- und Rückenmuskulatur.

0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Verlauf	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Links										Muskeln	Rechts									
										DP										
										ICO5										
										ICO8										
										OI										
										OE										
										RA										
										SCM										
										TD										
										PM										
										SA										
										MF										
										QL										
										EI										
										EL										
										LD										

Abbildung 5.65 Tonleiter, Ende: Vergleich von Sängern und Blechbläsern. Dargestellt sind die signifikanten Ergebnisse des T-Tests, nach Korrektur mittels der family wise error rate. Folgende Farbkodierung wurde verwendet: Blau: Die Blechbläser haben einen höheren Anteil als die Sänger im relativen Verlauf. Dunkelblau, wenn dieser Wert signifikant ist. Rot: Die Sänger haben einen höheren Anteil im relativen Verlauf. Dunkelrot, wenn dieser zusätzlich signifikant ist.

5.2.6 Schwellton

In Abbildung 5.66 zeigt sich während der Übung Schwellton bei den Sängerinnen sehr geordnetes Bild. Hier ist mit Ausnahme von SCM und teilweise auch MF ein stetig ansteigendes Aktivierungsniveau bei allen Muskeln zu sehen. Diese weisen zu Beginn der Übung ihre Minima auf und steigern sich kontinuierlich, bis das übungsspezifische Maximum bei 100 % erreicht wird. Der SCM zeigt hier wieder einen umgekehrten Verlauf, mit mittlerem Aktivierungsniveau zu Beginn der Übung, einem Maximum bei 60% und dann wieder eine abnehmende Aktivierung bis zum Ende des Schwelltons. Bei den Holzbläserinnen zeigt sich ein ähnliches Aktivierungsmuster aller Muskeln, mit Ausnahme von SCM, SA und MF. Diese drei Muskeln haben ähnlich wie bei den Sängerinnen zu Beginn der Übung eine gesteigerte, manchmal sogar maximale Aktivierung, welche zum Ende der Übung wieder abnimmt, teils auch minimal ist. Die restlichen Muskeln haben ähnlich wie bei den Sängerinnen einen ansteigenden Aktivierungsverlauf mit minimalem Aktivierungsniveau zu Beginn der Übung und ansteigend bis zum Ende der Übung (100%). Im Gegensatz zu den Sängerinnen sind diese Muskeln allerdings zwischen 40 und 50% auf einem verminderten Niveau aktiviert und haben danach einen stärkeren prozentualen Anstieg als bei den Sängerinnen. Dort ist die minimale Aktivierung bereits zwischen 30 und 40% zu finden und steigt dann langsamer im Verlauf an. Bei den Sängern ist der Aktivierungsverlauf wieder ähnlich wie bei den Sängerinnen. Hier allerdings mit Ausnahme von SCM und MF, welche einen umgekehrten Aktivierungsverlauf haben. Der SCM beginnt mit einem mittleren

Aktivierungsniveau, hat sein Maximum bei 50% und zeigt dann wieder einen abfallenden Aktivierungsverlauf. Beim MF zeigt sich zu Beginn des Schwelltons das übungsspezifische Aktivitätsmaximum welches dann im Laufe der Übung wieder abnimmt und sein Minimum bei 90 bis 100% hat. Die restliche Muskulatur hat wie bei den Sängerinnen sein jeweiliges Minimum zu Beginn der Schwelltonübung, nimmt stetig bis zum Ende der Übung zu, wo dann bei 100% das Maximum erreicht ist. Bei den Blechbläsern hingegen fällt nun ein ähnliches Bild auf. Vor allem im Bereich der Atem-, Bauch- und oberflächlichen Rückenmuskulatur zeigt sich bei beiden Gruppen eine ähnliche Dynamik, wie auch ein Anstieg von Minimalwerten zu Beginn des Schwelltons bis hin zu Maximalwerten am Ende der Übung. Hier liegen allerdings die Maximalwerte bei den Blechbläsern erst bei 90%, was bei den Sängern nicht zutrifft. Der SCM zeigt zwar bei Sängern und Blechbläsern einen ähnlichen Aktivierungsverlauf, ist aber wie bei den Sängerinnen und Holzbläserinnen von der restlichen Muskulatur getrennt zu betrachten. Der SCM startet zu Beginn des Schwelltons auf mittlerem Aktivierungsniveau, hat sein Maximum bereits bei 50% und fällt dann zum Ende der Übung wieder ab bis das Minimum bei 90%, bzw. bei den Blechbläsern bei 100% zu finden ist. Die Dynamik des MF ist bei beiden Gruppen wieder ähnlich, muss aber auch wieder gesondert betrachtet, da sie sich von den restlichen Muskeln abheben. Hier finden sich die Maximalaktivierung schon zu Beginn der Übung und anschließend ein stetig abfallendes Aktivierungsniveau.

Betrachtet man zuletzt die vier rechten Blöcke von Abbildung 5.66 so zeigt sich bei den Sängerinnen und Holzbläserinnen im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur ein ähnliches Bild. Hier ist das Aktivierungsniveau zu Beginn des Schwelltons auf einem niedrigen Niveau und steigert sich zum Ende der Übung auf ein mittleres bis maximales Aktivierungsniveau. Bei den Holzbläserinnen ist wieder ein stärkerer Umschwung bei 60% zu sehen, was bei den Sängerinnen bereits bei 40% stattfindet. Die Hals- und Nackenmuskulatur zeigt bei beiden Gruppen ein gleich bleibendes mittleres Aktivierungsniveau. Bei den Sängerinnen ist im Bereich der Thorax- und Rückenmuskulatur wieder mehr Dynamik zu sehen, als bei den Holzbläserinnen, bei denen sich eine ähnliche Dynamik von niedrigen Werten zu Beginn des Schwelltons und einem sich daran anschließenden stetigen Anstieg findet. Ausnahmen sind hier EI und LD. Die restliche Muskulatur bei den Holzbläserinnen befindet sich auf einem gleich bleibenden, mittleren Aktivierungsniveau. Beim Vergleich der Sänger mit den Blechbläsern finden sich weniger Unterschiede, als beim Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen. Bei den Männern zeigt sich im Bereich der Atem-, Bauch-, Thorax- und teilweise auch Rückenmuskulatur ein zu Beginn vermindertes Aktivierungsniveau, welches

sich im Laufe der Schwelltonübung langsam steigert und sein Maximum zum Ende der Übung hat (90 bis 100%). Im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur ist sowohl bei den Sängern, als auch bei den Blechbläsern ein gleich bleibendes, mittleres bis hohes Aktivierungsniveau zu finden. Der MF ist bei beiden Gruppen anfänglich auf einem höheren Niveau, fällt dann leicht ab und bleibt bis zum Ende der Übung auf einem mittleren Aktivierungsniveau.

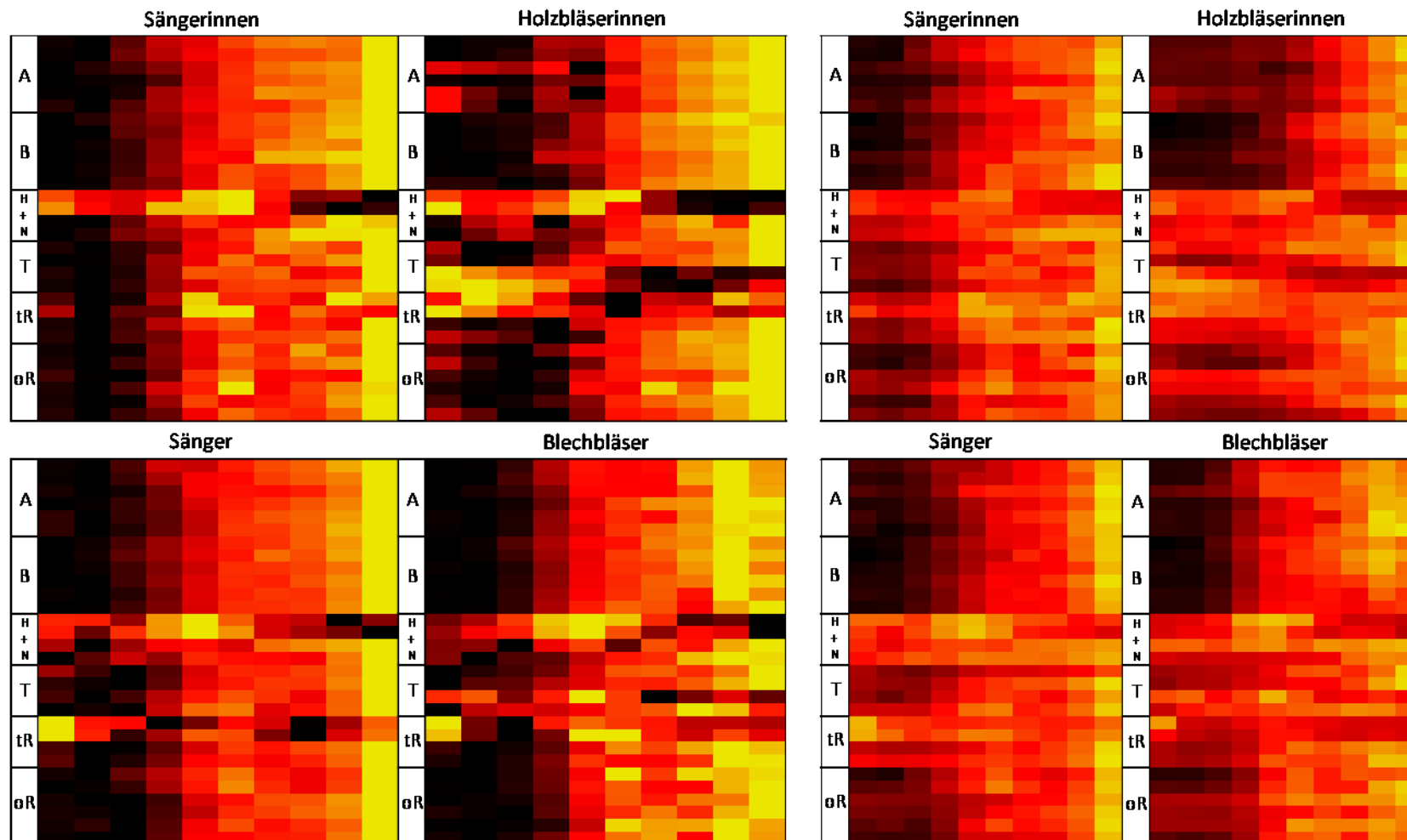


Abbildung 5.66 Schwellton - Ganze Übung: Dargestellt sind die auf das vorkommende Übungsmaximum normierten Verlaufsdaten mit einer Auflösung von 10%. Im linken Teil erfolgt die Darstellung für jeden Muskel einzeln normiert, im rechten Teil erfolgt die Farbkodierung unter Berücksichtigung aller Werte des jeweiligen Blocks. Aus Platzgründen sind in den Zeilenköpfen nur die Muskelgruppen bezeichnet. Die Anordnung der einzelnen Muskeln ist Abbildung 5.57 zu entnehmen.

6 Diskussion

Aufgrund der geringen Gruppengröße und stärkeren Individualität bei den Bläsern zeigt sich eine große Streuung der Ergebnisse. Dies macht einen statistischen Vergleich zwischen den Sängern und den Bläsern sehr schwierig. Doch lassen sich aber bei der Betrachtung der Ergebnisse bei den Bläsern Tendenzen erkennen, die einen deskriptiven Vergleich zulassen. Eine ausführlichere Betrachtung möglicher Fehler folgt im Anschluss der Diskussion.

6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Damit eine komprimierte und funktionelle Darstellung der Ergebnisse möglich ist, wird die im Ergebnisteil benutzte Strukturierung verlassen. Es folgt eine Betrachtung der Ergebnisse für die jeweils beschriebenen Muskelgruppen, bei denen die statischen und dynamischen Ergebnisse kombiniert für die Einatmung und dann für die durchgeführten Übungen diskutiert wird. Im Anschluss folgt dann die Diskussion der vorher postulierten Hypothesen, bevor zum Schluss die Fehlerdiskussion erfolgt.

6.1.1 Einatmung

6.1.1.1 *Dehnungsverlauf der elastischen Bänder*

Wie bereits unter 4.2.1 erwähnt, wurden drei Bänder zur Identifikation des Brust- bzw. Bauchumfanges verwendet: Band 1, direkt unter den Achseln; Band 2, auf der halben Distanz zwischen Band 1 und 3 und Band 3, auf Höhe des Bauchnabels.

Bei den Holzbläserinnen zeigt sich nach initialem Anstieg der Umfangsdehnung, dass die maximale Dehnung der einzelnen Bänder bereits deutlich vor dem Ende der Einatmung erreicht ist. So ist Band 2 bei 30%, Band 3 bei 50% und Band 1 bei 75% der Übung maximal gedehnt und alle drei Bänder verbleiben dann auf einem gleich hohen Dehnungsniveau (Plateauphase). Band 2 und 3 kommen dabei auch über 100% der Referenzdehnung des jeweiligen Bandes.

Bei den Blechbläsern, wird die Maximaldehnung der Bänder zeitlich ähnlich erreicht, jedoch mit einem langsameren und stetigeren Anstieg. So sind Band 2 und 3 bereits bei 30% maximal gedehnt und verbleiben dann auf in etwa gleich hohem Niveau (Plateauphase), bzw. fallen zum Ende diskret wieder ab. Band 1 hingegen zeigt bis zum Ende der Inspiration einen kontinuierlich steigenden Verlauf.

Beim Vergleich der Holzbläserinnen und Blechbläser zeigt sich der Unterschied auch am Ende der Inspiration. Hier sind bei den Frauen die Bänder 1 und 3 unter dem Niveau von

Band 2. Bei den Männern befinden sich Band 2 und 3 gemeinsam auf einem höheren Niveau als Band 1.

Für die Blechbläser ist eine Maximaldehnung auch vor Ende der Einatmung zu sehen, jedoch trifft dies nur für das Band 2 (75%) zu. Band 1 und Band 3 haben ihr Maximum zum Ende der Inspiration, weisen aber insbesondere für Band 3 eine große Streuung der Ergebnisse auf. Damit ist diese Aussage nicht so gut beurteilbar wie bei den Flötistinnen. Bei den Bläsern liegen die Dehnungswerte für Band 2 und 3 wieder oberhalb der Referenzdehnung, allerdings nicht so deutlich wie bei den Flötistinnen.

Vergleicht man nun diese Merkmale mit denen der Sänger, so ist zu bemerken, dass beide Geschlechter bei den Bläsern einen rascheren Anstieg der Bänder zu Beginn der Einatmung haben als die Sänger. Dies betrifft vor allem Band 2 und 3 (Abdomen), welche bei allen Geschlechtern die maximale Dehnung im Vergleich zur Referenz aufweisen. Band 1 zeigt bei beiden untersuchten Gruppen (Sänger und Bläser) einen kontinuierlich ansteigenden Verlauf. Auch wenn die Streuung vor allem der weiblichen Bläser größer sind als bei den Sängern, so ist diese frühere Dehnung als Tendenz zu sehen und kann wie folgt bewertet werden: Beide untersuchten Gruppen (Sänger und Bläser) haben ihre maximale Dehnung in Band 2 und 3. Somit ist der Einsatz der Bauchatmung, welche für den Bläser von großer Bedeutung ist (Schlenger 1935, Singer 1926, Wöste 1994), anhand der Bänderdehnung zu quantifizieren. Dass dabei diese Bänder bei den Bläsern früher ihr Maximum erreichen, kann damit erklärt werden, dass im Zuge der Einatmung für die Bläser eine zügige Inspiration notwendig ist (Singer 1926). Allerdings wird bei den Bläsern im Gegensatz zu den Sängern der Luftstrom zur Tongebung über die Zunge und nicht durch die entgegengesetzte Thoraxbewegung freigeben, was das spätere Auftreten des Maximalwertes erklären kann. Das Phänomen, dass die maximale Inspiration, also im unserem Fall die maximale Dehnung der Bänder, bereits vor Ende der Inspiration zu sehen ist, beschrieben bereits Seidner und Wendler (1978) für die Sänger. Obwohl über die Einatmungscharakteristik der Bläser keine Literatur verfügbar ist, kann das beschriebene charakteristische Dehnungsverhalten der untersuchten Rumpfbereiche nunmehr auch für die Bläser nachgewiesen werden und kann darüber hinaus durch die unterschiedliche Tongebungstechnik erklärt werden: während der Sänger mit Umkehr des Luftstromes sofort die Phonation beginnt, erfolgt bei den Bläsern der Tonbeginn immer nach dem Lösen der Zunge von den Lippen, respektive dem Mundstück. Damit kann also bereits deutlich vor Beginn des Tones ein positiver Druck aufgebaut werden.

Ein zweiter Erklärungsversuch wäre mit der Dissertation von Schwabe (2016) und der Eingangssituation eines Sängers oder Blägers zu Beginn des Studium zu erklären. Bei

Schwabe wurden, wie in dieser Arbeit, die gleichen Probanden (aber nur Sänger) untersucht. Es folgte der zeitliche Vergleich von Vor- (Beginn des Studiums) und Nachuntersuchungen (nach 4 Jahren professionellen Studiums). Nach 4 Jahren Gesangsausbildung zeigte sich ein früheres (ca. 10%) Dehnungsmaximum. Betrachtet man dies mit der Ausgangssituation, welche sowohl Sänger, als auch Bläser aufweisen, so muss man auch ohne verfügbare Literatur anmerken, dass Bläser zu Beginn ihres Studiums eine viel intensivere Ausbildung erfahren haben, als die meisten Sänger. Dies zeigt sich vor allen in der unter Tabelle 4.1 aufgeführten Anzahl der Übungsjahre. Bei den Sängern ergeben sich im Mittel 4,3 und bei den Bläsern 10,8 Übungsjahre. Ein Sänger erfährt somit gerade durch das professionelle Studium die gesangliche Reife. Ein Bläser hingegen muss sich bereits in frühen Lebensjahren durch intensives Üben profilieren, um überhaupt in einem Orchester aufgenommen zu werden, bzw. die Aufnahmeprüfung für das Studium erfolgreich zu absolvieren. Diese beiden Fakten werden durch die oben stehenden Ergebnisse (das zeitig eher erreichte Dehnungsmaximum) bekräftigt.

Im Bereich der Flanken sind die größten Expansionsmöglichkeiten des Thorax und Abdomens bei der Einatmung vorhanden (Schmidt et al. 2011). Im Vergleich zur Atmung in Ruhe oder beim Sprechen, wird dieser Bereich der Flanken während der klassischen sängerischen Inspiration gezielt mit eingebunden.

6.1.1.2 *Atemmuskulatur*

Bei den Holzbläserinnen beginnt die muskuläre Aktivierung, bei der Einatmung auf einem niedrigen Niveau, und erreicht das Maximum bei circa 60% der Einatmung. Dies ist allerdings nur für den ICO5 und ICO8 zu sagen, da das DP einen stetigen Anstieg aufweist und das Aktivitätsmaximum erst am Ende der Übung erreicht. Dieser Unterschied zwischen ICO5, ICO8 und DP findet sich jedoch nicht bei den Blechbläsern. Hier finden sich über alle Atemmuskeln die Aktivitätsmaxima bei 60% der Einatmung und die Minimalaktivierung am Ende der Inspiration, welche bei den Holzbläserinnen zu Beginn der Inspiration zu finden war. Somit zeigt sich bei den Holzbläserinnen ein ähnliches Aktivierungsbild wie bei den Sängerinnen und Sängern.

Die Bläserinnen und Bläser weisen ihr muskelspezifisches Maximum zeitlich früher (60%) als die Sängerinnen und Sänger (80%) auf. Dies deckt sich mit der Aussage von Schlenger (1935) und Bouhuys (1964), die für den Bläser eine zügige Inspiration mit gleichzeitig einsetzender Maximalaktivierung für eine erfolgreiche Inspiration fordert, um große Luftvolumina schnell aufzunehmen und dann dosiert mit dem erforderlichen Druck abgeben zu können.

Es besteht also ein deutlicher Unterschied der Atemmuskelaktivitätscharakteristik der Atemmuskulatur sowohl zwischen Sängern und Blechbläsern als auch zwischen Blechbläsern und Holzbläserinnen. Ob diese Unterschiede allerdings eher Geschlechtsspezifika darstellen oder tatsächlich durch die unterschiedliche Ansatz- und Spieltechnik bedingt sind, kann aufgrund der Datenstruktur nicht beantwortet werden.

6.1.1.3 *Bauchmuskulatur*

Bei den Holzbläserinnen zeigt der OI, wie es für einen Expirationsmuskel nicht anders zu erwarten war (Abe et al. 1996), die maximale Aktivität zu Beginn der Einatmung, welche dann kontinuierlich bis zum Ende abnimmt. Dies trifft allerdings nicht für den OE zu, welcher ebenfalls als Expirationsmuskel gilt. OE und RA haben eine ansteigende Aktivität mit ihrem Maximum zum Ende der Inspiration. Bei den Blechbläsern ist das Aktivierungsmuster ähnlich wie bei den Frauen. Auch hier ist der OI zu Beginn maximal aktiviert. Das Maximum von OE und RA findet sich allerdings nicht zum Ende der Inspiration, sondern bereits bei 60%.

Somit zeigt sich bei den Sängern und Bläsern, dass die Aktivierung des OI eine ähnliche Charakteristik aufweist. Bezüglich der Muskeln OE und RA tritt wie bereits bei der Atemmuskulatur erwähnt die maximale Aktivierung der Muskeln bei den Bläsern zeitlich eher als bei den Sängern auf.

6.1.1.4 *Hals- und Nackenmuskulatur*

Der SCM, mehrfach als unterstützender Muskel der Inspiration beschrieben (Basmajian und De Luca 1985, Drenckhahn et al. 2003), hat während der Inspiration bei den Bläserinnen und Bläsern ein ansteigenden Aktivitätsverlauf. Das Maximum bei den Flötistinnen liegt bei 60%, bei den Blechbläsern bei 90 bis 100%. Die maximale Aktivität des TD zeigt sich bei den Holzbläserinnen zu Beginn der Inspiration, welche dann im Verlauf der Inspiration wieder abnimmt. Bei den Blechbläsern ist kein eindeutiges Muster zu erkennen. Es zeigen sich aber Tendenzen, dass die höhere Aktivität ebenfalls zu Beginn und die niedrigere Aktivität zum Ende der Inspiration zu beobachten ist.

Im Vergleich zu den Sängern können somit folgende Schlüsse gezogen werden: Das Aktivitätsmaximum des SCM bei den Holzbläserinnen findet zeitlich eher statt, als bei den Sängerinnen. Der TD hat einen ähnlichen Verlauf in beiden Gruppen. Bei den Blechbläsern zeigen sich aufgrund der Gruppengröße große Schwankungen, dennoch lässt sich ein ähnlicher Verlauf der Aktivität, wie bei den Sängern, vermuten.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich nun folgende Interpretationsmöglichkeiten ableiten: Die Tatsache, dass die Flötistinnen die Maximalaktivierung des SCM zeitlich vor der der Sängerinnen liegt, deckt sich mit den Ergebnissen aus der Atem- und Bauchmuskulatur. Allerdings trifft dies nicht auf den Vergleich von Sängern und Blechbläsern zu. Grund hierfür kann die Heterogenität der in die Analyse eingeschlossenen Instrumente sein.

Die zweite Interpretationsmöglichkeit bezüglich der Unterschiede von Bläsern und Sängern ergibt sich dahingehend, dass bei den Flötistinnen die Unterschiede in der Aktivität des SCM durch die Haltung des Instruments hervorgerufen werden könnten. Dieses wurde zwar, wie in 4.4 erläutert, bei der Bearbeitung der Daten berücksichtigt, doch lassen sich Bewegungen nie zu 100% ausschließen. Der SCM, der auch für die Lateralflexion des Kopfes zur ipsilateralen Seite zuständig ist (Schünke et al. 2011), kann somit bei den Flötistinnen durch die Haltung des Instruments beim Spielen stärker beansprucht werden.

Auch stellt sich für die Flötistinnen die Frage, ob diese eine kosto-abdominale Einatmung benutzen, oder eine aufgrund der Körperhaltung günstigere Schlüsselbeinatmung (Schlenger 1935). Diese Schlüsselbeinatmung, welche den Einsatz des SCM bedarf, ist für die Inspiration für den Musiker ungünstiger, da geringere Volumina pro Zeit aufgenommen werden können. Dies kann allerdings mithilfe der Bänder nicht bestätigt werden. Band 1 kommt sowohl bei den Sängerinnen, als auch bei den Flötistinnen auf gleiche Dehnungswerte. Lediglich Band 2 und 3, welche für eine Bauch- und Flankendehnung stehen, erreichen bei den Flötistinnen höhere Dehnungswerte, als bei den Sängerinnen. Für eine Schlüsselbeinatmung wäre eine größere Dehnung von Band 1 und niedrigere Dehnung von Band 2 und 3 zu erwarten gewesen. Insofern scheinen unterschiedliche Atemtechniken keine schlüssige Erklärung abzugeben.

6.1.1.5 *Thoraxmuskulatur*

Bei den Holzbläserinnen zeigt sich sowohl PM als auch SA mit niedriger Ausgangsaktivität zu Beginn der Einatmung. Das Maximum wird bereits zur Mitte der Inspiration erreicht. Bei den Blechbläsern ist ein solches Muster nur schwer zu erkennen. Die Verlaufsscharakteristik der beiden Muskeln ist, wie bei den Holzbläserinnen, nicht eindeutig abzugrenzen. Zwar lässt sich ein Aktivitätsmaximum auf die Mitte der Inspiration deuten, doch hat der linke SA sein Maximum bereits zum Beginn der Inspiration. Auch hier erscheint die Instrumentenhaltung der Flötistinnen innerhalb der hier zu berücksichtigenden Dynamik als mögliche Erklärung. Im Vergleich dieser beiden zu den übrigen Muskeln zeigt sich im Koordinationsmuster eine mittlere Aktivität, welche die gesamte Einatmung überdauert.

Ein Vergleich zwischen Flötistinnen und Sängerinnen, bzw. Blechbläsern und Sängern zeigt, dass die Aktivierung wie bereits vorher für andere Muskeln festgestellt, wieder für die Bläser zeitlich eher ihr Maximum erreicht. In Anlehnung an das Koordinationsmuster über alle Muskeln ist zu sagen, dass bei den Bläsern keine so starke Dynamik im Verlauf der Inspiration zu beobachten ist, wie bei den Sängern. Dies könnte dadurch verursacht sein, dass Bläser zeitiger ihre Maximalaktivierung erreichen, um somit den Aufbau der Stütze zeitlich gesehen früher zu erlangen (Schlenger 1935).

6.1.1.6 *Rückenmuskulatur*

Die Rückenmuskulatur kann sowohl für die Expiration, als auch für die forcierte Inspiration genutzt werden. Sie ist wichtig für die Stabilisierung des Rückens, vor allem beim Einsatz der Stütze. Sowohl bei den Sängern, als auch bei den Bläsern hat die oberflächliche und tiefe Rückenmuskulatur während der Inspiration eine Dynamik im Aktivitätsprofil. So ist zu Beginn der Einatmung eine niedrige Aktivität zu sehen, welche sich im Laufe der Einatmung steigert. Das Maximum ist bei den Bläsern allerdings, ähnlich wie bei abdominalen- und Thoraxmuskulatur, zeitiger zu finden, als bei den Sängern. Dies könnte wiederum darauf basieren, dass die Bläser aufgrund der bereits beschriebenen unterschiedlichen Tongebungstechnik schneller den Druck aufbauen müssen, als die Sänger. Dieser Druckaufbau wird durch eine rasche Inspiration ermöglicht und dank der Stütze lange gehalten und langsam abgegeben (Scheufele-Osenberg 1999, Richter 1980, Schlenger 1935).

6.1.1.7 *Zusammenfassende Überlegungen für die Einatmung*

Für die Einatmung lassen sich nun zusammenfassend folgende Schlüsse ziehen: Die Holzbläserinnen erreichen ihr individuelles muskuläres Aktivierungsmaximum während der Einatmung vor den Sängerinnen. Dies gilt ebenso für die Bänderausdehnung der Bänder 1 und 2, wobei hier die Flötistinnen eine Aktivierung deutlich über ihrem Referenzmaximum aufweisen.

Beim Vergleich von Bläsern und Sängern sind die eben beschriebenen Unterschiede ebenso zu beobachten. Auch hier zeigt sich bei den Bläsern eine früher einsetzende und höhere Maximalaktivierung und ebenso eine eher einsetzende Maximaldehnung der Bänder 2 und 3. Diese Beobachtung könnte man damit begründen, dass sowohl Holz-, als auch Blechbläser ein zeitigeres Aktivierungsmaximum als die Sänger erreichen müssen (Schlenger 1935).

Im Vergleich zum Sänger muss der Bläser mithilfe der Zunge und der Ventile des Instrumentes einen Gegendruck aufbauen (Wöste 1994). Dafür ist eine frühere Aktivierung nötig, um anschließend mit der Zunge den Ansatz zu verschließen und dann durch

kontrollierte Bewegungen der Zunge einen tongebenden Luftstrom zu erzeugen, der durch einen bereits existierenden ausreichenden Druck ermöglicht wird.

Die Anforderungen an die korrekte Inspiration des Musikers zeigen, dass es zwingend notwendig ist, während einer klassischen Musik- und Gesangsausbildung den Fokus auch auf eine korrekte Atmung zu legen. Gerade für die Bläser gilt es, die costo-abdominale Atmung zu bevorzugen (Barth 1911) um maximale Atemvolumina zu erreichen und damit längere Passagen einerseits muskulär ökonomisch und andererseits auch klanglich perfekt gespielt werden können.

Wie unter 6.1.1.1 kann hier wieder der Aspekt angebracht werden, dass Bläser besser ausgebildet in ein professionelles Studium eingehen, als es die Sänger tun.

6.1.2 Übungen

Auch hier wurde die unter dem Ergebnisteil angewandte Gliederung der einzelnen Übungen verlassen, um allgemeinere Aussagen über alle Übungen hinweg treffen zu können. Ziel der Arbeit ist die Betrachtung der muskulären Aktivierung. Die von der Hochschule für Musik in Dresden standardisierten und fest etablierten Übungen sollen für die Betrachtung der muskulären Aktivierung zusammenfassend diskutiert werden.

6.1.2.1 *Dehnungsverlauf der elastischen Bänder*

Wie bereits unter 5.2.1 erwähnt, waren die durch die Bänder erfassten Atemmuster bei allen Übungen so wenig verschieden, so dass im Ergebnisteil der Verlauf der Bänder während der Übungen exemplarisch an der Übung Schwellton gezeigt wurde.

Sowohl bei den Holzbläserinnen, als auch bei den Blechbläsern ist ein kontinuierlicher Umfangsverlust von Thorax und Abdomen im Laufe der gesamten Übung zu beobachten. Dieser Umfangsverlust ist zur Mitte der Übung am stärksten, wird dann zum Ende der Übung zwar langsamer, ist aber weiterhin stetig nachweisbar. Am Ende erreichen die Bänder sogar negative Werte, was zeigt, dass die Bläser/-innen in der Lage sind im Laufe einer spieltechnischen Übung mehr an Umfang zu verlieren, als unter maximaler willkürlicher Expiration. Lediglich Band 3 bei den Blechbläsern hat zu Beginn der Übung keinen Dehnungsverlust zu verzeichnen, sondern zeigt sogar eine leichte Zunahme der Banddehnung. Bei den Sänger/innen zeigte sich ebenfalls eine Abnahme der Bandausdehnung im Verlauf der Übung. Der Längenverlust gestaltete sich aber langsam und stetig bis zum Ende der Übung. Negative Werte wurden dabei selten erreicht. Band 2 zeigte bei beiden Geschlechtern die größte Längendifferenz im Sinne eine Abnahme. Dieser Längenverlust des Bandes im

Bereich der Flanke ist der anatomische Bereich der für die sängerische Atmung am bedeutendsten ist. Diese Ergebnisse, von Jähkel (2014) beschrieben, decken sich unter anderem mit den Empfehlungen von Biesalski für eine effektive sängerische Atmung (Biesalski 1994, Husler und Rodd-Marling 1978, Seidner und Wendler 1978). Aufgrund mangelnder Literatur für die Bläser, aber ähnlichen Ergebnissen, zumindest bei den Flötistinnen, lässt sich diese Aussage auch auf die Holzbläserinnen übertragen. Bei den Blechbläsern ist vor allem in Band 3 (Bauch) wie oben beschrieben der anfängliche Anstieg, dann aber starke Abfall in der Dehnung des Bandes zu beobachten. (Wöste 1994)

6.1.2.2 *Atem- und Bauchmuskulatur*

An dieser Stelle werden die Atem- und Bauchmuskulatur zusammen betrachtet, da sich sowohl bei den Sängern, als auch bei den Bläsern gemeinsam zutreffende Aussagen machen lassen.

Für diese beiden Muskelpartien ist bei den Bläser/innen über alle Übungen hinweg, mit Ausnahme der Tonleiter, ein ähnlicher Aktivierungsverlauf zu beobachten. Es zeigt sich eine stetige Zunahme der Aktivierung im Laufe der Übung mit Maximum bei 90-100%. Bei der Tonleiterübung gipfelt die muskuläre Aktivität in der Mitte der Übung, im Bereich der None, wo sie anschließend auch wieder abfällt.

Vergleicht man die Koordinationsmuster der Atem- und Bauchmuskulatur mit den anderen Muskelgruppen wird folgender Unterschied deutlich: zu Beginn der Übung zeigt sich ein zunächst geringer Anteil an der Gesamtaktivität, welcher im Verlauf der Übung ansteigt, sodass die Atem- und Bauchmuskulatur am Ende der Übung den höchsten Anteil an der Gesamtaktivität aller Muskeln besitzt.

Bei den Sänger/innen findet sich identisches Bild der Aktivierung im Verlauf der Übung.

Ein Vergleich zwischen den beiden Gruppen (Sänger und Bläser) zeigt im Bereich der Atemmuskulatur während der Tonleiterübung die höhere muskuläre Aktivität auf Seiten der Bläser. Diese Werte sind vereinzelt signifikant, so dass man hier nur von sichtbaren Tendenzen reden kann.

In beiden untersuchten Gruppen zeigt der OI bei Betrachtung der Intermuskulären Koordination den größten Anteil unter allen betrachteten Muskeln. Dies deckt sich mit der Aussage, dass die Bauchmuskulatur den größten Anteil an der Stütze besitzt (Leanderson et al. 1987). Den größten Anteil an der Stütze während der Expiration besitzt eigentlich der *Musculus transversus abdominis*. Da dieser Muskel aber zu tief für die hier benutzte OEMG-

Messung liegt, kann der OI für die hier untersuchten horizontalen Faseranteile funktionell weitgehend als Stellvertreter betrachtet werden (Marshall und Murphy 2003).

6.1.2.3 Hals- und Nackenmuskulatur

Die Hals- und Nackenmuskulatur (SCM und TD) zeigt ein leicht verändertes Bild im Aktivierungsverhalten während der Übungen. Ein geradliniger Anstieg der muskulären Aktivierung, wie bei der Atem- und Bauchmuskulatur zu beobachten war, ist im Laufe der Übungen nicht immer deutlich zu sehen.

So beginnt der SCM zum Anfang der Übung mit einer mittlerer muskulären Aktivierung, welche sich zur Mitte der Übung steigert und am Ende der Übung auf das übungsspezifische Aktivitätsminimum fällt. Anders ist es beim TD. Hier hat der Muskel bei den Bläser/-innen die niedrigste Aktivität zu Beginn der Übung und steigert sich kontinuierlich zum Ende jeder einzelnen Übung.

Betrachtet man nun das Anstrengungsmaß (gemessen zur Referenz) der Hals- und Nackenmuskulatur im Vergleich zu den restlichen Muskeln, so zeigt sich hier bei den Bläsern das höchste Anstrengungsmaß über alle Muskeln. Das Koordinationsmuster zeigt aber weiterhin den größten Anteil der Gesamtaktivierung auf Seiten der Bauchmuskulatur (v.a. OI).

Vergleicht man nun diese Ergebnisse mit denen der Sänger/innen lassen sich kaum Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen finden. Beide Gruppen (Bläser und Sänger) haben ein ähnliches Aktivierungsmuster im Verlauf der jeweiligen Übungen. Lediglich beim Vergleich von Holzbläserinnen und Sängerinnen fällt auf, dass die Holzbläserinnen beim TD während der Maximalaktivierung weit über die Referenzsituation kommen. Dieses Phänomen ist sowohl bei den Sängerinnen, als auch beim Vergleich von Bläsern und Sängern nicht zu finden. Eine Erklärung hierfür ist in der Literatur nicht beschrieben. Die Tatsache, dass das Anstrengungsmaß der Bläserinnen weit über die Referenzsituation (170%) geht, ist ein klares Indiz dafür, dass es trotz der Fehlerkorrektur durch das Halten des Instrumentes, zu einer verfälschten Messung durch das Halten der Querflöte kommt. Die Querflöte wird vom Musiker nach rechts gehalten und somit der TD rechts und spiegelbildlich der SCM links beansprucht. Der TD zieht die Scapula nach schräg aufwärts und dreht sie nach außen (Schünke et al. 2011), der SCM unterstützt die gegenüber der Armhaltung gegenläufige Position des Kopfes. Der indirekte Nachweis der Überlegungen hinsichtlich der haltebedingten Besonderheiten für die Flötistinnen ergibt sich daraus, dass die beschriebenen Befunde bei den Blechbläsern so nicht zu finden sind. Eine weitere Ursache kann die unterbewusste Aktivierung des Künstlers sein. Obwohl die Musiker angehalten wurden ihre

Bewegungen auf ein Nötigstes zu reduzieren, können kleinste Bewegungen, wenn auch nicht sichtbar, nicht vollkommen ausgeschlossen werden.

6.1.2.4 *Thoraxmuskulatur*

PM und SA, beide als fakultative Inspiratoren beschrieben, zeigen im Aktivierungsverlauf (Intermuskuläre Koordination) während der einzelnen Übungen kein eindeutiges Aktivitätsmuster. Es fällt auf, dass der linke SA der Holzbläserinnen während des Vokalausgleiches stärkere Potentialschwankungen aufweist, als der SA rechts. Da dies nur bei den Holzbläserinnen, nicht aber bei den Blechbläsern zu finden ist, lässt sich auch hier mutmaßen, dass dies durch die Haltung der Querflöte, wie oben bereits beschrieben, hervorgerufen wird.

Bezogen auf die intermuskuläre Koordination kann für die Thoraxmuskulatur gesagt werden, dass diese aufgrund niedriger Werte den anderen Muskeln gegenüber eine untergeordnete Rolle spielt.

Bei der zeitabhängigen Betrachtung zeigt sich bei den Bläsern beim SA ein inverser Verlauf, d.h. die höchste Aktivierung ist zu Beginn der Übung zu sehen und die niedrigste zum Ende der Übung. Eine Erklärung ist möglicherweise in der Funktion des SA als Inspirationsmuskels zu sehen. Am Ende der Inspiration ist die muskuläre Aktivierung noch groß und nimmt im Verlauf der Übung, bei Expiration, ab.

Auch beim Vergleich von Sängerinnen und Holzbläserinnen, bzw. Sängern und Blechbläsern ist bei der zeitabhängigen Betrachtung zu sehen, dass die Bläser die höhere Aktivierung, jedoch ohne signifikante Unterschiede aufweisen.

6.1.2.5 *Rückenmuskulatur*

Die Rückenmuskulatur dient der Stabilisierung der Wirbelsäule und Aufrichtung des Körpers. Dies ist für einen erfolgreichen Einsatz der Stütze unabdingbar. Im Verlauf der vier Übungen zeigt sich bei Sängern und Bläsern eine unterschiedliche intermuskuläre Koordination. Während des Vokalausgleiches und des Dreiklangs fällt bei den Blechbläsern, teilweise auch bei den Holzbläserinnen im Vergleich zu den Sänger/innen, der Aktivitätsanteil des MF im Laufe der Übung ab. Bei der Tonleiter ist kein eindeutiges Muster zu erkennen und bei dem Schwellton steigt die Aktivierung wieder von Beginn der Übung bis zu Ende. Eine Funktion des Muskels für die Ausübung der Stütze kann somit nicht eindeutig benannt werden.

Die restliche oberflächliche und tiefe Rückenmuskulatur zeigt ein ansteigendes Aktivierungsniveau im Laufe der Übung. Hier kann somit davon ausgegangen werden, dass

die Rückenmuskulatur den Einsatz der Stütze unterstützt. Dies gilt sowohl für die Bläser, als auch für die Sänger.

Das intermuskuläre Koordinationsmuster betreffend ist die Rückenmuskulatur bei den Bläser/innen auf einem niedrigeren Niveau im Vergleich zur restlichen Muskulatur aktiv. Hierbei ist die tiefe Rückenmuskulatur aktiver, als die oberflächliche Rückenmuskulatur. Diese Ergebnisse zeigen ein ähnliches Aktivierungsverhalten wie die Hals- und Nackenmuskulatur.

Beim Vergleich von Sängern und Bläsern zeigt sich wieder eine erhöhte Aktivität auf Seiten der Holzbläserinnen und Blechbläser, nun auch bei einem Großteil der Unterschiede auf statistisch signifikantem Niveau. Somit zeigt sich, dass die oberflächliche und tiefe Rückenmuskulatur bei den Bläsern einen wichtigeren Einfluss auf die Stütze hat, als bei den Sängerinnen und Sängern. Dies betrifft aber nur den zeitlichen Verlauf eines Übungsstückes. Der Anfang, bzw. das Ende zeigt eine nicht-signifikante höhere Aktivität auf Seiten der Sängerinnen und Sänger.

6.1.2.6 Zusammenfassende Überlegung für die gesamte Übungslänge

Zusammenfassend für die muskuläre Aktivität im zeitlichen Verlauf der einzelnen Übungen ist für die Bläser/innen festzustellen, dass die Aktivierungscharakteristik der untersuchten Muskeln im Übungsverlauf der der Sänger sehr ähnelt. Lediglich die Aktivierung in der Mitte jeder Übung (mit Ausnahme der Tonleiter) weisen unterschiedliche Verläufe auf. So haben die Bläser/innen einen späteren Aktivierungsanstieg als die Sänger/innen. Dies ist vor allem im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur zu sehen. Dies kann daran liegen, dass bei der Inspiration die Bläser/innen ihr Maximum eher erreicht haben und somit die Stütze langsamer wieder abbauen. Oder die Bläser/innen sind mithilfe des Gegendruckes durch das Instrument in der Lage die aufgebrauchte Luft langsamer und somit kontinuierlicher wieder abzugeben.

Auffällig war eine minimal früheres Aktivitätsmaximum bei den Bläsern im Vergleich zu den Sängern (80-90% vs. 90-100%).

Eine schlüssige Erklärung für dieses Phänomen gibt es aus physiologischer Sicht nicht. Möglicherweise ist dieser Effekt der Heterogenität der Bläsergruppe zu schulden.

Beim direkten Vergleich der Sänger mit den Bläsern zeigt sich die höhere Aktivität auf Seiten der Bläser, jedoch sind diese Unterschiede wieder wenig signifikant. Es lassen sich damit aber Tendenzen aufzeigen, welche sich mit vorherigen Arbeiten dahingehend decken, dass Bläser in der Lage sind, höhere intraorale- bzw. korporale Drücke und Volumina aufzubringen, als Sänger (Singer 1926).

6.2 Diskussion der Hypothesen

6.2.1 Hypothese 1

Es ist bekannt, dass Flötistinnen (Holzbläserinnen) einen niedrigeren Anblasdruck beim Musizieren benötigen als Blechbläser. Daher ist zu erwarten, dass deren Anstrengungsmaß niedriger ausfällt, als das der Blechbläser und somit weitgehend dem der Sängerinnen entspricht.

Die Querflöte ist ein Instrument, bei dem in anderen Untersuchungen gezeigt wurde, dass bei der Erzeugung von Tönen niedrigere intraorale Drücke vorherrschen als beim Spielen einer Tuba, Posaune oder Horn (Kreuter et al. 2008, B. Schwab 2004, Bouhuys 1964). Somit ist also anzunehmen, dass die muskuläre Arbeit, welche die Flötistinnen aufbringen müssen signifikant niedriger ist, als bei den Blechbläsern.

In der hier durchgeführten Untersuchung wurde die zu untersuchende Übung in zwei Abschnitte geteilt. Zum Einen die Zeit der Inspiration und zum Anderen der Abschnitt der gesamten Übung. Bei der zeitunabhängigen Betrachtung der einzelnen Übungen zeigen sich bei allen Übungen überwiegend höheren Aktivitäten auf Seiten der Blechbläser. Diese sind jedoch nur bei der Übung Dreiklang und Tonleiter überwiegend signifikant. Bei den Übungen Vokalausgleich und Schwellton lassen sich auch auf Seiten der Bläser höhere Werte finden, jedoch wenig signifikant.

Auch ist auffällig, dass im Bereich der oberflächlichen und tiefen Rückenmuskulatur fast alle Vergleiche zugunsten der Blechbläser ausfallen, wenn auch nicht immer signifikant. Dies kann damit erklärt werden, dass die Gruppengröße gering ist und somit bereits geringe Schwankungen in den Ergebnissen zum Verlust systematischer Unterschiede führen.

Die erste Hypothese kann als bestätigt gesehen werden, auch wenn die Ergebnisse nicht immer auf signifikantem Niveau sind, was aber wahrscheinlich der Gruppengröße geschuldet ist. Dennoch lassen sich eindeutige Tendenzen erkennen, welche Voruntersuchungen zu intraoral gemessenen Drücken unterstützen.

6.2.2 Hypothese 2

Blechbläser zeigen aufgrund des höher aufzubringenden Druckes für das Blasen von Blechinstrumenten ein höheres Anstrengungsmaß als Sänger.

Um diese Hypothese bestätigen oder widerlegen zu können, bedarf es einer kritischen Betrachtung der zeitunabhängigen Daten.

Hier zeigt sich beim Vokalausgleich das höhere Anstrengungsmaß vermehrt auf Seiten der Sänger, jedoch nur vereinzelt auf signifikantem Niveau.

Auch bei der Übung Dreiklang zeigen sich fast ausschließlich die höheren Aktivitätswerte auf Seiten der Sänger, dieses Mal auch vermehrt signifikant, insbesondere im Bereich der tiefen und oberflächlichen Rückenmuskulatur.

Bei der Tonleiter ist kein identifizierbares Muster zu erkennen, doch sind auch hier die höheren Aktivitätswerte auf Seiten der Sänger zu erkennen.

Lediglich bei der Übung Schwellton, weisen die Bläser im Bereich der Atem- und Bauchmuskulatur das höhere Anstrengungsmaß auf, wenn auch auf nicht-signifikantem Niveau.

Insgesamt lässt sich also sagen, dass bei fast allen Übungen und Muskeln das höhere Anstrengungsmaß auf Seiten der Sänger liegt und die Hypothese somit abgelehnt werden muss.

Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen wäre die Länge der zurückliegenden Ausbildungsjahre bei Sängern und Bläsern. Wie in Tabelle 4.1 bereits deutlich wurde, haben die Bläser im Mittel eine längere musikalische Ausbildung erhalten, als es die Sänger haben. Auf dieses Problem wird erneut in der Fehlerbetrachtung unter 6.3.1 Bezug genommen.

6.2.3 Hypothese 3

Während des Einatmens und der gesamten Übung weisen Bläser im Vergleich zu den Sängern einen größeren Umfang von Thorax und Abdomen (in Bezug zur maximalen In- und Expiration) auf.

Die Generierung des Tones bei Sängern und Bläsern funktioniert über unterschiedliche Mechanismen. Beim Sänger wird der Druck subglottisch aufgebaut und über die Spannung der Stimmritze ein Ton erzeugt, welcher epilottisch und im Mund noch moduliert werden kann. Beim Bläser hingegen, wird der Ton primär am bzw. über das Mundstück des Instrumentes erzeugt und durch die schwingende Luftsäule im Instrument weiter moduliert. Diese ist vor allem für die tieferen Register in ihrer Länge erheblich (Tiefes C: ca. 65 Hz Grundfrequenz, resultierende Wellenlänge (λ): 5,27 m, Länge der Luftsäule im einseitig geschlossenen Rohr ($\lambda/4$): 1,32 m). Dadurch bedarf es beim Bläser höherer Anblasdrücke, als beim Sänger.

Des Weiteren erzeugt der Sänger bereits mit Umkehr des Luftstroms von In- zu Expiration einen Ton. Der Bläser hingegen muss vor Beginn des Tons einen Druck aufbauen, um dann

durch Freigabe des Luftstroms durch die Zunge einen Ton zu generieren. Letztlich ist somit die verbleibende Inspirationszeit beim Bläser verkürzt und eine zügigere Inspiration mit größerem Umfang der Thorax und Abdomen im Vergleich zu den Sängern zu erwarten.

Um oben stehende These belegen zu können, ist der Vergleich der Bänderdehnungen zwischen den Sängern und Bläsern während der Inspiration und des Übungsverlaufes notwendig. Unter 5.2.1 wurde für alle Übungen exemplarisch die Bänderdehnung während der Übung Schwellton untersucht.

Für die Bänderdehnung während der Inspiration zeigt sich sowohl bei den Holzbläserinnen, als auch bei den Blechbläsern ein zeitlich früher einsetzender Anstieg der Bänderdehnung. Während die Sänger/innen ab ca. 50% der Inspiration eine stärkere Umfangszunahme verzeichnen, ist dies bei den Bläser/innen bereits bei 25% der Übung zeitlich eher zu beobachten. Auch fällt auf, dass alle drei Bänder der Sänger/innen synchron an Umfang zunehmen. Bei den Holzbläserinnen zeigt sich vor allem Band 2 mit größter Umfangszunahme im Vergleich zu Band 1 und 3. Auch zeigt sich auf Seiten der Bläser/innen, dass die Bänderdehnung viel näher an die probandenspezifische Maximaldehnung gelangt, als bei den Sänger/innen. Die Dehnung der Bänder geht sogar teilweise über das Referenzmaximum von 100% hinaus (Band 2 und 3). Dies zeigt, dass die Bläser/innen in der Lage sind während der Einatmung mit Ihrem Bauch- und Brustumfang über ihr Referenzmaximum gelangen. Die Tatsache, dass in beiden Gruppen Band 2 und 3 die größte Dehnung erfahren, deckt sich mit den Aussagen von Barth (1911), welcher die kostoabdominale Atmung als diejenige Atmung beschrieb, welche in der Lage ist maximale Volumina zu bewegen.

Für die Bänderdehnung während der Übung ist zunächst zu beobachten, dass im Vergleich zu den Sänger/innen die Bläser/innen eine höhere Ausgangsdehnung der Bänder besitzen. Dies erklärt sich damit, dass die eben besprochene Maximaldehnung der Bänder während der Einatmung bereits eine größere Dehnung auf Seiten der Bläser/innen zeigt. Der Verlauf der Bänderdehnung zwischen den beiden Gruppen ist wiederum unterschiedlich. Während die Sänger/innen einen konstanten, langsam kleiner werdenden Dehnungsumfang in allen drei Bändern zeigen, so sind es vor allem Band 2 und 3, welche bei den Bläserinnen bei ca. 40-50% der Übung einen starken Abfall der Bänderdehnung aufweisen. Zum Ende der Übung weisen bei den Bläsern alle drei Bänder sogar negative Dehnungswerte auf (bezogen zur Referenz). Bei den Bläserinnen sind dies nur Band 1 und teilweise Band 2. Dies zeigt, dass sowohl Holzbläserinnen, als auch Blechbläser in der Lage sind ihren Brust- und Bauchraum

über ihre Referenzsituation zu dehnen, bzw. maximal anzuspannen, um noch geringste Volumina aus dem Bauch und Thorax zu bewegen.

Zu erwähnen ist allerdings noch der Fakt, dass die Streuung der Ergebnisse auf Seiten der Bläser/innen um ein vielfaches größer ist, als bei den Sängerinnen. Dies ist der Gruppengröße der Bläser geschuldet. Die Ergebnisse sind somit nur mit einer Tendenz in die beschriebene Richtung zu bewerten.

Zusammenfassend ist die Hypothese, dass Bläser/-innen einen größeren Umfang von Thorax und Abdomen während der Inspiration und der einzelnen Übung besitzen, als Sänger/-innen, positiv zu beantworten. Die starke Streuung, auf Seiten der Bläser/-innen, welche der Gruppengröße geschuldet ist, muss bei der Betrachtung allerdings mit berücksichtigt und somit kritisch hinterfragt werden.

6.2.4 Hypothese 4

Aufgrund der unterschiedlichen Technik zur Tonerzeugung bei Sängern und Blechbläsern weisen beide Gruppen (Sänger vs. Bläser) während der Einatmung und der gesamten Übung ein unterschiedliches muskuläres Aktivierungsmuster auf.

Bei Betrachtung der zeitabhängigen Daten der Einatmung zeigen sich im Vergleich der Gruppen sowohl Gemeinsamkeiten, als auch Unterschiede: zu Beginn der Einatmung haben alle Probanden über fast alle Muskeln, ausgenommen die expiratorisch wirkenden Muskeln (OI und TD), die niedrigste relative Aktivierung. Die Blechbläser entwickeln das relative Aktivierungsmaximum früher als die Sänger. Möglicherweise steht dies im Zusammenhang mit der Vorbereitung der komplexen Tonerzeugung über das Blechblasinstrument mit luftdichter Umschließung des Mundstücks, Korrektur der Kieferposition, usw. im Vergleich zu der physiologisch einfacheren Tonerzeugung des Gesangs. Die Phase der Inspiration ist also beim Blechbläser etwas kürzer und somit auch das Aktivierungsmaximum eher erreicht.

Bei der Betrachtung der einzelnen Übungen, zeigt sich, mit Ausnahme der Übung Tonleiter, ein nahezu identisches Aktivierungsmuster über alle Muskeln hinweg. Auch hier ist auffällig, dass das Maximum bei den Blechbläsern etwas eher ist als bei Sängern. Das Spielen eines Blechblasinstrumentes bedarf eines hohen intraoralen Drucks. Man kann eine Füllung des Mundraums mit Luft anhand aufgeblasener Wangen beobachten. Kurz vor Ende der Übung, vor Lösung des Mundes vom Mundstück, wird dieses Volumen möglicherweise zur

Tongenerierung genutzt, sodass die muskuläre Aktivierung im Rumpfbereich, im Vergleich zu den anderen Gruppen, bereits etwas eher abnimmt.

Sowohl bei der Inspiration, als auch der einzelnen Übungen ist ein ähnlicher Verlauf der muskulären Aktivierung zu sehen, doch ist bei den Bläsern die Maximalaktivierung in beiden Fällen zeitiger zu finden und als deutlicher Unterschied zwischen Sängern und Bläsern zu werten. Somit kann die Hypothese, trotz einiger Gemeinsamkeiten, angenommen werden.

6.3 Fehlerbetrachtung

6.3.1 Probanden

Da die Fehlerbetrachtung der Sänger bereits von Jähkel (2014) behandelt wurde, soll sich bei der Fehlerbetrachtung in Hinblick auf die Probanden, nur auf die Bläser konzentriert werden.

Die Probanden wurden entsprechend ihres Ausbildungsstandes gewählt. So studierten alle Probanden während der Messung im ersten Studienjahr an der Hochschule für Musik in Dresden. Aufnahmekriterien für das Studium an der Hochschule ist die musikalische Qualifikation eines jeden Künstlers. Auffällig unterschiedlich waren die zum Eintritt des Studiums erworbenen Ausbildungsjahre. So waren es im Mittel bei den Sänger/-innen 4,3 und bei den Bläser/-innen 9,1 Jahre. Ein Bläser beginnt bereits im frühen Kindesalter mit dem Spielen eines Instrumentes, wohingegen der Sänger meist erst nach dem Stimmbruch mit dem professionellen Singen anfängt. Somit lässt sich also mutmaßen, dass die Vorverlagerung der Maximalaktivierung bei den Bläsern der längeren Spielerfahrung und somit einer frühzeitigeren Anpassung geschuldet ist.

Aufgrund der Gruppengröße wurde eine weitere Einteilung, neben der des Geschlechts oder der Einteilung in die einzelnen Instrumente, nicht vorgenommen. Denkbar wäre eine Einteilung nach Instrumenten oder Lungenvolumina gewesen. So wurden gerade die Blechbläser in dieser Arbeit trotz unterschiedlicher Instrumente, welche auch unterschiedlich aufzubringende Drücke benötigen, in eine Gruppe zusammengefasst. Dies kann zu stärkeren Streuungen in den Ergebnissen geführt haben.

Die Probanden unterschieden sich hinsichtlich ihrer Größe, Gewicht und Konstitution. Da das unterschiedlich ausgeprägte Unterhautfettgewebe einen Einfluss auf den Abstand zwischen Elektrode und Muskel hat (Lowery et al. 2002), mussten oben genannte Normierungsverfahren angewandt werden, um Fehler bei der Interpretation der Signale zu minimieren. Somit wurden probandenspezifische Referenzgrößen (Referenzmaxima,

übungsspezifische Maxima, intermuskuläre Koordination) gewählt, um die entstandenen Daten besser vergleichbar zu machen (Mathiassen et al. 1995).

6.3.2 Untersuchungsaufbau

Um eine gute Vergleichbarkeit der hier vorgestellten Daten mit denen der Arbeit von Jähkel (2014) zu erreichen wurden exakt dieselben Vorkehrungen und Messungen durchgeführt. Hierbei wurden die Studenten gebeten möglichst alle Bewegungen, die normalerweise sehr individuell sind, zu unterlassen. Lediglich in Einzelfällen mussten Übungen wiederholt werden. Die Übungen wurden des Weiteren auch mit Video aufgezeichnet, so dass es auch retrospektiv möglich war die Übungsausführung zu evaluieren.

Da die Musiker somit eine mehr oder weniger statische Körperhaltung während des Musizierens einnehmen mussten, kann eine muskuläre Mehraktivierung aufgrund dieser starren Körperhaltung nicht ganz ausgeschlossen werden. Inwieweit diese Aktivierung Einfluss auf die erhobenen Messwerte hat, kann nicht sicher bestimmt werden.

Ein weiterer Einfluss auf die Muskelaktivität ist durch das Halten des Instrumentes gegeben, was aber durch die am Beginn zusätzlich durchgeführte Referenzsituation mit gehaltenem Instrument quantifiziert und in der weiteren Analyse der Messwerte berücksichtigt wurde. Einflüsse die während des Spielens zusätzlich auftraten, können nicht mit endgültiger Sicherheit ausgeschlossen werden. Insbesondere für die Flötistinnen gibt es Hinweise, dass die "Ruhekorrektur" die beim Spielen auftretenden muskulären Asymmetrien im Bereich der Hals- und Nackenmuskulatur nicht wirklich ausgleichen konnten.

6.3.3 Untersuchungsablauf

Die Übungen, welche von den Bläsern gespielt, bzw. von den Sängern gesungen wurden, sind Übungen, welche bereits über Jahrzehnte an der Hochschule für Musik für die Gesangsforschung zu Forschungszwecken genutzt werden. Sie wurden entwickelt, um die gesangstechnischen Fertigkeiten der Studenten reliabel zu analysieren und bieten somit die Möglichkeit die Qualität der Stimme im Verlauf des Studiums zu beurteilen. Somit können diese Übungen als etabliert angesehen werden. Diese Übungen wurden für die Bläser übernommen, um den direkten Vergleich zwischen Sängern und Bläsern vornehmen zu können. Obwohl die Übungen den Studenten bekannt sind, wurde der genaue Ablauf der Untersuchung (welches Stück gespielt werden muss) nicht vorab bekannt gegeben. Grundsätzlich gilt jedoch, dass bis auf den Vokalausgleich alle anderen gespielten Übungen zu den permanent von den Instrumentalisten praktizierten Übungen zählen. Ein habituativer Einfluss kann somit weitgehend ausgeschlossen werden.

6.3.4 Elektrodenpositionierung

Die Identifikation und Markierung der international gebräuchlichen Elektrodenpositionierungen (Hermens et al. 1999) wurde bei jedem einzelnen Probanden durch ein und dieselbe Person durchgeführt. Somit konnten Messfehler aufgrund variierender Elektrodenpositionierung minimiert werden.

Auch wurden die an die Elektroden anliegenden Kabel sorgfältig fixiert, so dass ein durch Druck oder Zug an den Elektroden hervorgehobenes Störsignal minimiert werden konnte (Hermens und Vollenbroek-Hutten 2004).

7 Ausblick

Ziel der Arbeit war es, Instrumentalstudenten zu Beginn des Studiums bezüglich ihrer muskuloskelettalen Koordinierung zu untersuchen und mit korrespondierenden Daten von Sängern zu Beginn des Studiums (Jähkel 2014) zu vergleichen. Sowohl die Koordination der Muskulatur während der Inspiration, als auch während standardisierter Übungen wurden betrachtet. Es wurden sowohl die Blechbläser mit den Holzbläserinnen, als auch alle Bläser (Holz- und Blechbläserinnen) mit den Sänger/-innen verglichen. Somit konnten nicht nur Vergleiche zwischen Bläsern und Sängern, sondern auch zwischen weiblichen und männlichen Bläsern vollzogen werden.

Als Ergebnis dieser Studie zeigte sich ein interessanter Unterschied zwischen den Bläsern und Sängern. Wie vorher bereits erwähnt weisen die Bläser bereits am Anfang des Studiums eine Vorverlagerung der Maximalaktivierung während der Inspiration gegenüber den Sängern auf. Dies konnte Schwabe (2016) bei den Sängern erst in der Folgeuntersuchung am Ende des Studiums nachweisen.

Somit bleibt es spannend zu erfahren, welche Ergebnisse die Untersuchungen der Bläser am Ende des Studiums erbringen.

Desweiteren zeigte diese Arbeit, dass das Registrieren des OEMGs und der Atemexkursion mittels elastischer Bänder als geeignete Methode angewandt werden kann, um den physischen Status eines Blägers objektiv darzustellen. Da die Ableitung von 15 paarig angelegten OEMG-Elektroden für den alltäglichen Einsatz als unpraktikabel anzusehen ist, wäre die Messung mittels der drei elastischen Bändern und ggf. zwei charakteristischer Kennmuskeln (Bspw. OI und EI) vorstellbar. Diese beiden Muskeln wären gut zu erreichen und spiegeln sowohl die Rücken, als auch Bauchmuskulatur als Antagonisten wieder. Unter Berücksichtigung der individuellen Maxima wäre es somit möglich eine Aussage über den körperlichen Ausbildungstand im Verlauf des professionellen Musikstudiums zu bekommen. Somit könnte bereits zu Beginn des Studiums ein Fehlverhalten identifiziert und zeitnah korrigiert werden. Im besten Fall könnten so Überbeanspruchungen des muskuloskelettalen Systems und resultierende Haltungsschäden frühzeitig detektiert und möglicherweise langfristig verhindert werden.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Abe T, Kusuhara N, Yoshimura N, Tomita T, Easton PA. 1996. Differential respiratory activity of four abdominal muscles in humans. *J Appl Physiol*, 80 (4):1379-1389.
- Altenmüller E. 2012. Wenn das Musizieren schmerzt - funktionelle, neurologische und psychologische Aspekte instrumentalspiellozierter Schmerzen. *Der Schmerz*, 26 (S1):21-25.
- Aumüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spanel-Borowski K, Wolff W, Wurzingen LJ, Zilch H-G. 2007. *Duale Reihe Anatomie*. Georg Thieme Verlag.
- B. Schwab AS-F. 2004. Intraorale Druckentwicklung bei Holz- und Blechbläsern. *Musikphysiologie und Musikermmedizin*, 11 (4):183-194.
- Barth E. 1911. *Einführung in die Physiologie, Pathologie und Hygiene der menschlichen Stimme*. Leipzig: Thieme.
- Basmajian JV, De Luca CJ. 1985. *Muscles Alive*. 5 Aufl. Baltimore, London, Sydney: Williams and Wilkins.
- Beck TW, Housh TJ, Cramer JT, Stout JR, Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Defreitas JM. 2009. Electrode placement over the innervation zone affects the low-, not the high-frequency portion of the EMG frequency spectrum. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19 (4):660-666.
- Behrends JC. 2010. *Physiologie 93 Tabellen*. Stuttgart: Thieme.
- Benjamini Y, Hochberg Y. 1995. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society*, 57 (1):289-300.
- Biesalski P. 1994. *Phoniatrie - Pädaudiologie* : in 2 Bänden 2 Pädaudiologie. 2., neubearb. und erw. Aufl Aufl. Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Blum J, Ahlers J. 1995. *Medizinische Probleme bei Musikern*. Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Bouhuys A. 1964. Lung volumes nad breathing patterns in wind-instrument players. *Journal of Applied Physiology*, 19 (5):967-975.
- Burden A, Bartlett R. 1999. Normalisation of EMG amplitude: an evaluation and comparison of old and new methods. *Med Eng Phys*, 21 (4):247-257.
- de Luca CJ. 1997. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech*, 13 (2):135-163.
- De Luca CJ, Knaflitz M. 1992. *Surface Electromyography: What's New?* Turin: C.L.U.T.
- Drenckhahn D, Christ B, Benninghoff A, Benninghoff D. 2003. *Zellen- und Gewebelehre, Entwicklungslehre, Skelett- und Muskelsystem, Atemsystem, Verdauungssystem, Harn- und Genitalsystem*. 16., völlig neu bearb. Aufl. Aufl. München [u.a.]: Urban & Fischer.
- Farina D, Cescon C, Merletti R. 2002a. Influence of anatomical, physical, and detection-system parameters on surface EMG. *Biol Cybern*, 86 (6):445-456.
- Farina D, Mesin L, Martina S, Merletti R. 2004. Comparison of spatial filter selectivity in surface myoelectric signal detection: influence of the volume conductor model. *Med Biol Eng Comput*, 42 (1):114-120.
- Farina D, Merletti R, Indino B, Nazzaro M, Pozzo M. 2002b. Surface EMG crosstalk between knee extensor muscles: experimental and model results. *Muscle Nerve*, 26 (5):681-695.
- Farkas P. 1980. *Die Kunst der Blechbläser*. München: Pizka.

- Fishbein M. 1987. Medical Problems Among ICSOM Musicians: Overview of a National Survey. *Senza Sordnio*, XXV (6).
- Freiwald J, Baumgart C, Konrad P. 2007. Einführung in die Elektromyographie. Balingen: Spitta.
- Frucht A-H. 1940. Zur Physiologie des Blasinstrumentenspiels ; Die Blechbläser. (Mit 9 Textabb.). (Berlin: J. Springer).
- Göpfert B. 2002. Handbuch der Gesangkunst. 4., überarb. und stark erw. Aufl. Aufl. Wilhelmshaven: Noetzel.
- Güth W, Danckwerth F. 1997. Die Streichinstrumente Physik - Musik - Mystik. Stuttgart: Steiner.
- Hafferl A, Thiel W. 1969. Lehrbuch der topographischen Anatomie mit den Pariser und Jenaer Nomina anatomica. 3. Aufl Aufl. Berlin [u.a.]: Springer.
- Hermens HJ, Vollenbroek-Hutten MM. 2004. Effects of electrode dislocation on electromyographic activity and relative rest time: effectiveness of compensation by a normalisation procedure. *Med Biol Eng Comput*, 42 (4):502-508.
- Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman DF, Blok J, Rau G, Disselhorst-Klug C, Hägg G. 1999. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy, results of the SENIAM project. Enschede: Roessingh Research and Development b.v.
- Husler F, Rodd-Marling Y. 1978. Singen die physische Natur des Stimmorganes ; Anleitung zum Aufschließen der Singstimme. 2. Aufl. Aufl. Mainz [u.a.]: Schott.
- Jähkel S. 2014. Polyelektromyografische Untersuchung der Rumpfmuskulatur bei Sängern : Statusbesimmung zum Studienbeginn.: Universitätsklinikum Jena.
- Klöppel R. 2008. Das Gesundheitsbuch für Musiker Anatomie, berufsspezifische Erkrankungen, Prävention und Therapie. 3. Aufl Aufl. Kassel: Bosse.
- Klöppel R. 2009. Die Kunst des Musizierens von den physiologischen und psychologischen Grundlagen zur Praxis. 5. überarb. Aufl. Aufl. Mainz [u.a.]: Schott.
- Kreuter M, Kreuter C, Herth F. 2008. [Pneumological aspects of wind instrument performance--physiological, pathophysiological and therapeutic considerations]. *Pneumologie*, 62 (2):83-87.
- Kumar S. 1996. Electromyography in ergonomics. London [u.a.]: Taylor & Francis.
- Lahme A, Klein-Vogelbach S, Spirgi-Gantert I, Hesse H-P. 2000. Berufsbedingte Erkrankungen bei Musikern gesundheitserhaltende Maßnahmen, Therapie und sozialmedizinische Aspekte. Berlin [u.a.]: Springer.
- Leanderson R, Sundberg J, von Euler C. 1987. Role of diaphragmatic activity during singing: a study of transdiaphragmatic pressures. *J Appl Physiol*, 62 (1):259-270.
- Lowery MM, Stoykov NS, Taflove A, Kuiken TA. 2002. A multiple-layer finite-element model of the surface EMG signal. *IEEE Trans Biomed Eng*, 49 (5):446-454.
- Marras WS, Davis KG. 2001. A non-MVC EMG normalization technique for the trunk musculature: Part 1. Method development. *J Electromyogr Kinesiol*, 11 (1):1-9.
- Marras WS, Davis KG, Maronitis AB. 2001. A non-MVC EMG normalization technique for the trunk musculature: Part 2. Validation and use to predict spinal loads. *J Electromyogr Kinesiol*, 11 (1):11-18.
- Marshall P, Murphy B. 2003. The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *J Electromyogr Kinesiol*, 13 (5):477-489.
- Mathiassen SE, Winkel J, Hagg GM. 1995. Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies -- A review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5 (4):197-226.

- Merletti R, Rainoldi A, Farina D. 2001. Surface electromyography for noninvasive characterization of muscle. *Exerc Sport Sci Rev*, 29 (1):20-25.
- Mörl F, Anders C, Graßme R. 2010. An easy and robust method for ECG artifact elimination of SEMG signals Aalborg: Omnipress.
- Norris RN, Torch D, International Conference of Symphony and Opera Musicians (ICSOM). 1997. The musician's survival manual a guide to preventing and treating injuries in instrumentalists. Saint Louis: MMB Music.
- Richter B, Echternach M. 2013. Die Stimme Grundlagen, künstlerische Praxis, Gesunderhaltung. Leipzig: Henschel.
- Richter W. 1980. Schule für die Querflöte Neufassung der Schule für die Böhmflöte. Mainz [u.a.]: Schott.
- Sand S, Sundberg J. 2005. Reliability of the term 'support' in singing. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30 (2):51-54.
- Sataloff RT, Brandfonbrener AG, Lederman RJ. 1998. Performing arts medicine. 2nd ed Aufl. San Diego [u.a.]: Singular Pub. Group.
- Scheufele-Osenberg M. 1999. Die Atemschule Übungsprogramm für Sänger, Instrumentalisten und Schauspieler ; Atmung, Haltung, Stimmstütze. 2. Aufl. Aufl. Mainz u.a.: Schott.
- Schink T, Kreutz G, Busch V, Pigeot I, Ahrens W. 2014. Incidence and relative risk of hearing disorders in professional musicians. *Occup Environ Med*, 71 (7):472-476.
- Schlenger K. 1935. Eignung zum Blasinstrumentenspiel Beiträge zur Physiologie und Pädagogik des Blasinstrumentenspiels, unter besonderer Berücksichtigung der Flöte. Dresden: Bungeartz.
- Schmidt RF, Lang F, Thews G. 2005. Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie ; mit 78 Tabellen ; [neue Approbationsordnung] Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Schmidt RF, Lang F, Heckmann M. 2011. Physiologie des Menschen. Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- Schnack G. 1994. Gesund und entspannt musizieren Intensivstretching und Prävention für Musiker ; mit Kurzprogramm ; mit 10 Tabellen. Stuttgart ;Jena ;New York: G. Fischer.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U. 2011. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Thieme, Stuttgart.
- Schwabe R. 2016. Polyelektromyografische Untersuchung der Rumpfmuskulatur bei Sängern Folgeuntersuchung nach vier Jahren Gesangstraining: Universitätsklinikum Jena.
- Seidel EJ, Lange E, Deutsche Gesellschaft für Musikphysiologie und Musikermedizin, Deutsche Gesellschaft für Musikphysiologie und Musikermedizin. 2001. Die Wirbelsäule des Musikers 3. Symposium der Deutschen Gesellschaft für Musikphysiologie und Musikermedizin. Bad Kösen: GfBFF-Verl.
- Seidner W, Wendler J. 1978. Die Sängerstimme. Wilhelmshaven [u.a.]: Heinrichshofen.
- Singer K. 1926. Die Berufskrankheiten der Musiker systematische Darstellung ihrer Ursachen, Symptome und Behandlungsmethoden. Berlin: Hesse.
- Sliacka D. 1983. Musikinstrumente. Hanau/Main: Dausien.
- Smith DWE. 1989. Aging and the Careers of Symphony Orchestra Musicians. *Medical Problems of Performing Artists*, 4 (2):81.
- Sonninen A, Laukkanen AM, Karma K, Hurme P. 2005. Evaluation of support in singing. *J Voice*, 19 (2):223-237.
- Sundberg J. 1997. Die Wissenschaft von der Singstimme. Bonn: Orpheus-Verl.

- Sundberg J, Birch P, Gumoos B, Stavvad H, Prytz S, Karle A. 2007. Experimental findings on the nasal tract resonator in singing. *J Voice*, 21 (2):127-137.
- Trendelenburg W. 1925. Die natürlichen Grundlagen der Kunst des Streichinstrumentspiels Berlin, Heidelberg ;s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Tubiana R, Amadio PC. 2000. Medical problems of the instrumentalist musician. London: Martin Dunitz.
- Valentin E, Stein FA, Weiss C. 1986. Handbuch der Musikinstrumentenkunde. 8., völlig neubearb. Aufl. Aufl. Regensburg: Bosse.
- Wagner C. 1995. Medizinische Probleme bei Instrumentalisten Ursachen und Prävention. Laaber: Laaber.
- Wöste H-JVd. 1994. Die Kunst der Blastechnik - Grundlagen der Atemstütze.

9 Anhang

Protokoll Atmung bei Sängern und Bläsern

Name: _____ interner Code: _____ S / B

Geb.: _____ Untersuchungsdatum: _____

Untersuchungsnummer: _____

Stimmlage / Instrument _____

AD 2000/s

Bipolar, ToM, Verstärkung 1000

Muskel / Kanalbelegung	Lokalisation
Rectus abdominis: li 1 (II), re 16 (III)	caudale Elektrode Höhe Nabel, 4cm von Mitte, vertikal
Obliquus internus: li 2 (I2), re 17 (II2)	medial Inguinalfalte, Höhe SIAS, horizontal
Obliquus externus: li 3 (I3), re 18 (II3)	Ca. 30° nach unten, Hälfte Distanz Rippenbogen – Beckenkamm, seidl. Körperkontur
M. quadratus lumborum li 4 (I4), re 19 (II4)	Neben Muskelbauch Multifidus, Hälfte zwischen 12. Rippe und Crista iliaca, vertikal
Multifidus: li 5 (I5), re 20 (II5)	Höhe L5, 1cm medial der Linie Spina iliaca posterior superior – L1
Erector (iliocostalis) li 6 (I6), re 21 (II6)	Höhe L2, medial der Linie Spina iliaca posterior superior – Unterkante Rippenbogen
Erector (longissimus) li 7 (I7), re 22 (II7)	Höhe L1, 2 Finger lateral des Processus spinosus auf Muskelbauch nach kranial
Latissimus dorsi: li 8 (I8), re 23 (II8)	½ Distanz Linie hintere Achselfalte - L1, auf der Linie
Serratus anterior: li 9 (I9), re 24 (II9)	Höhe Xiphoid, seitliche Körperkontur, 45° nach dorsal ansteigend, auf Linie
Sternocleid. li 10 (I10), re 25 (II10)	nach kranial, beginnend ca. 2cm oberhalb Clavicula, entlang Muskelkontur
Pectoralis major: li 11 (I11), re 26 (II11)	Hälfte Abstand Achselfalte – Sternum, waagerecht
Trapezius descendens: li 12 (I12), re 27 (II12)	Prox. Elektrode ½ Distanz zwischen C7 und Acromion, auf Linie
Intercostale (5. ICR): li 13 (I13), re 28 (II13)	5. ICR, vordere Achsillarlinie (Höhe Xiphoid)
Intercostale (8. ICR): li 14 (I14), re 29 (II14)	8. ICR, vordere Achsillarlinie
Diaphragma: li 15 (I15), re 30 (II15)	7.-8. ICR, Medioclavicularlinie, senkrecht
EKG: li 31 (I16)	Oberkörper Sternum gegen Herzspitze
Band 1: 32	Höhe direkt unter Achseln
Band 2: 33	Hälfte der Distanz zwischen Band 1 und Band 3
Band 3: 34	Nabelhöhe
Lautstärke: 35	
Synchro Ton: 36	

Ruhe entspannt, zu Beginn:

__ D ____ .mes

Ruhe, gehaltenes Instrument:

__ D ____ .mes

Kalibrierung Thoraxumfang

Maximale Inspiration in Thorax: __ D ____ .mes

Maximale Inspiration in Bauch: __ D ____ .mes

Maximale Expiration: __ D ____ .mes

Stimmübungen (Sänger und Bläser)

Die Übungen werden immer fünf Mal durchgeführt, jeder Wiederholung wird mit Synchro Ton begonnen und beendet

Vokalausgleich: __ D ____ .mes

Marker: M1: A, M2: E, M3: I, M4: O, M5:U

Ausgehaltener Ton (Dreiklang): __ D ____ .mes

Marker: M1: Anfang Übung, M2: Anfang ausgehaltener Ton, M3: Ende ausgehaltender Ton, M4: Ende Übung

Staccato (Tonleiter): __ D ____ .mes

Schwellton: __ D ____ .mes

Marker: M1: Anfang, M2: Ende

Ruhe entspannt, am Ende: __ D ____ .mes

Dauer ca. 20s

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die während der Entstehung dieser Arbeit mit offenem Ohr, Interesse und konstruktiver Kritik an meiner Seite standen. Der Rat und Beistand, sowohl fachlicher, als auch emotionaler Natur war unabdingbar für die Entstehung dieser Arbeit.

Ich danke Herrn PD Dr. med. Christoph Anders für die Vergabe des Promotionsthemas und die sehr gute wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit. Großer Dank gilt auch Herrn Prof. Hartmut Zabel, ohne dessen Mithilfe diese Studie nicht möglich gewesen wäre.

Ohne die Unterstützung von Herrn PD Dr. med. Anders, Prof. Zabel und die vielen freiwilligen Probanden wäre es niemals möglich gewesen, die dieser Arbeit zugrundeliegenden Daten zu erheben.

Nicht zuletzt danke ich meiner Frau Linda für Ihre unglaubliche Geduld und Verständnis, meiner Familie und meinen Freunden für die fortwährende Unterstützung. Jedes Gespräch, jede Diskussion, jede Kritik und jedes Lob haben mir geholfen diese Arbeit zu vollenden.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich- Schiller-Universität bekannt ist, ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind, mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Herr PD Dr. med. Ch. Anders (Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie; Funktionsbereich Motorik, Pathophysiologie und Biomechanik), Prof. Hartmut Zabel (Hochschule für Musik Carl Maria von Weber Dresden), die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Potsdam, den 13.02.2018

Christian Kentner